Emergency Preparedness Canada
Protection civile Canada

Disaster Mitigation and Preparedness in a Changing Climate

A Synthesis Paper

This document is available on the Internet
www.epc-pcc.gc.ca

SAFE GUARD

100-03557/

DISASTER MITIGATION AND PREPAREDNESS IN A CHANGING CLIMATE

A synthesis paper prepared for:

Emergency Preparedness Canada,
Environment Canada, and the Insurance Bureau of Canada

By:

James P. Bruce,
Ian Burton and
I.D. Mark Egener

GCSI - GLOBAL CHANGE STRATEGIES INTERNATIONAL INC.

MITIGATION AND PREPAREDNESS IN A CHANGING CLIMATE

Canadian Cataloguing in Publication Data

Bruce, James P.

Disaster mitigation and preparedness in a changing climate [computer file] : a synthesis paper

Issued also in French under title : Mesures d'atténuation des catastrophes et protection civile dans un monde au climat changeant.
Includes bibliographical references.
Mode of access: WWW site of Emergency Preparedness Canada.

1. Emergency management -- Canada -- Planning.
2. Natural disasters -- Canada.
3. Climatic changes -- Canada.
4. Emergency management -- Planning.
I. Burton, Ian, 1955- .
II. Egener, I.D. Mark.
III. Emergency Preparedness Canada.
IV. Canada. Environnement Canada.
V. Insurance Bureau of Canada.
VI. Title.

HV551.5C3B78 1999 363.34'0971 C99-980108-2

DISASTER MITIGATION AND PREPAREDNESS IN A CHANGING CLIMATE

I. Introduction

This synthesis paper will outline the issues and the latest scientific conclusions about climate change and severe weather events. The paper will provide information about the relationship between a changing climate and the frequency and severity of extreme weather events especially in the northern latitudes. It will discuss policies, means and mechanisms which will reduce the negative impact of extreme weather events and related natural disasters on human populations and infrastructure, with particular emphasis on the Canadian situation. Finally, it looks ahead at the continuing need for scientific, engineering, political and administrative actions and processes that will facilitate mitigation in a changing climate.

II. Summary of the Scientific Background of Climate Change

Most scientists agree that human economic activities are having a discernible and increasing influence on the climate, which will create a number of positive and negative results for the world's citizens and ecosystems.

Life on Earth is possible because of a natural greenhouse effect in which the Earth's atmosphere traps outgoing radiation, thus causing the overall temperature of the Earth to be some 33°C warmer than it would otherwise be (i.e., the present global mean temperature of +15°C would be –18°C without the "greenhouse effect"). The gases that contribute to this effect are called greenhouse gases and include water vapour, carbon dioxide (CO_2), methane, nitrous oxide, chlorofluorocarbons (CFCs) and ozone. Of these, the most prevalent human-produced gas is CO_2, which comes primarily from the burning of fossil fuels.

Scientists have found that for several thousand years prior to industrialisation, around 1750, a steady balance of about 280 parts per million by volume (ppmv) was maintained in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Since the industrial revolution, as more fossil fuels have been used to produce energy to fuel economic growth, concentrations of CO_2 have increased by about 30%[1] to a current level of 360 ppmv. Computer projections show that if the world continues as it is now, by 2100 concentrations could be nearer 700 ppmv. This could increase global average temperatures by as much as 4.0°C. Although this does not sound dramatic, one need only recall that during the last ice age global average temperatures were only some 6°C cooler than they are today. Scientists predict that the warming will not be evenly distributed and that the polar regions and inland temperate zones, such as the Canadian prairies, will experience even higher temperatures and in some regions, less precipitation.

[1] If other human-influence greenhouse gases are expressed as CO_2 equivalent, the increase due to human activities is about 50%.

Warmer temperatures will gradually cause polar ice to melt. Combined with the expansion of ocean water due to warmer water temperatures, sea levels could rise to a level that will threaten coastal areas and small island nations. As well, with more thermodynamic energy in the global system, there will likely be an increase in occurrences of extreme weather events, leading to threats to human safety and property damage. Climate change can be argued to be the most pervasive and far-reaching environmental issue ever dealt with by the international community.

In 1988, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was formed by the World Meteorological Organisation (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP). It brought together a broad range of government and non-government experts to assemble and assess the most recent available scientific knowledge and to determine what is known and not known about the climate system and climate change. Some 2000 scientists contributed to the most recent report, the *1995 Second Assessment Report*, which concluded that, "The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate"[2].

III. The Kyoto Protocol - Delaying Climate Change

As the scientific research effort gained momentum and the conclusion accepted that climate change was the inevitable outcome of increasing greenhouse gas emissions, a number of important international intergovernmental conferences were held from the mid-1980s to the early 1990s. Table 1 shows a chronology and summary of the key events.

TABLE 1: The Road to Kyoto[3]
A timeline of scientific research and conferences that led to the Kyoto Protocol

1896	Svante Arrhenius, a Swedish chemist, predicts carbon dioxide emissions from burning of coal will lead to global warming.
1957	Revelle and Seuss, scientists with the Scripps Institute of Oceanography, report that much of the CO_2 emitted into the atmosphere by industrial activities is not absorbed by the oceans, as some researchers had proposed. They described the build-up of carbon dioxide in the atmosphere as "a large-scale geophysical experiment" with the Earth's climate.
1958	Keeling, a scientist with the Scripps Institute, initiates the first reliable and continuous measurements of atmospheric carbon dioxide at Hawaii's Mauna Loa Observatory.
1972	Stockholm: first U.N. Conference on the Human Environment where human induced climate change was identified as a pressing issue. The United Nations Environment Programme founded.

[2] Paraphrased from Russell, Doug, and Toner, Glen, *Science and Policy when the Heat is Rising: The Case of Global Climate Change Negotiations and Domestic Implementation*. A Paper for the CRUISE Conference on Science, Government and Global Markets, Ottawa, October, 1998.

[3] From Russell and Toner.

1979	Geneva: first World Climate Conference: launched the World Climate Program to co-ordinate global research on climate and climate change and collect meteorological data.
1985	Dr. Joe Farmer, British Antarctica Survey, discovers a hole in the ozone layer over the Antarctic. His ground-based measurements are later confirmed by satellite images.
1985	Villach (Austria) Conference: issued a warning that "Many important economic decisions are based on the assumption that past climate is a reliable guide to the future. This is no longer a good assumption."
1987	Montreal Protocol on chemicals that deplete the ozone layer signed by 24 countries. They agreed to freeze consumption of CFCs and halons at 1986 levels, and reduce consumption by 50 percent by 1997.
1988	The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), made up of the world's leading climate scientists, is established by the U.N. Environment Programme and the World Meteorological Organisation to assess the scientific research on climate change and its environmental impacts.
1988	Toronto: The Conference on the Changing Atmosphere calls for a 20 percent reduction in carbon dioxide emissions.
1990	Geneva: First assessment report of the IPCC is endorsed at the Second World Climate Conference by more than 500 scientists and world leaders. A call is issued for an international agreement to mitigate global warming.
1992	Rio de Janeiro: One of the results of the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) was that 154 nations signed the U.N. Framework Convention on Climate Change, voluntarily agreeing to stabilize greenhouse gas emissions at 1990 levels by the year 2000.
1995	The IPCC, representing the consensus of the world's climate scientists, concludes that "...the balance of evidence suggests that there is a discernible human influence on global climate." It also concludes that the net benefits of greenhouse gas mitigation exceed the costs in many countries at least for the initial reductions.
1997	Warmest year on record since scientists began keeping accurate meteorological logs in 1860. The next two warmest years are also in the same decade: 1995, 1990.
1997	Kyoto, Japan: 159 nations negotiate a treaty setting out legally binding reduction targets averaging 5% below 1990 levels for industrialized countries for six greenhouse gases.
1998	Preliminary measurements indicate that 1998 is the warmest year on record in Canada.
Adapted from IISD, *A Guide to Kyoto: Climate Change and What it Means to Canadians*: 19-20.	

In spite of a small number of primarily American scientists who are sceptics there is a general scientific consensus regarding the influence of human activities on the climate. The significance of the Conference of Parties'[4] third meeting in Kyoto in December 1997

is the commitment to reducing greenhouse gas concentrations below 1990 levels with the aim of slowing the rate of climate change. However, even with the reductions in greenhouse gas emissions agreed to in Kyoto, there will continue to be changes in climate to which Canadians will have to adapt. In Canada's case, because of our high latitude location, the impact of the changes may be particularly severe.

Canadian authorities have organised the domestic science assessment process around Canada's Climate Program Board (CCPB). The CCPB has prepared reports on the state of the science, impacts of climate change on Canada, and mitigation and adaptation response options. The four federal natural resources departments (Environment, Natural Resources, Agriculture and Agri-Food, and Fisheries and Oceans) agreed to work together on joint projects and implement a framework for sustainable development science and technology in the natural resource sectors.[5]

A summary of the scientific information and data indicates that Canada's average temperature is about 1°C warmer since 1895, and there has been a discernible increase in the frequency of winter storms throughout the 20th century. In 1995, approximately 89% of total greenhouse gas emissions (GHGs) in Canada were attributable to transportation and fossil fuel production and consumption. In Canada, 1998 is shaping up to be the hottest year on record: the average national temperature for the first six months was 2.7°C above normal and parts of the Northwest Territories experienced temperatures more than 5°C above normal. Because of its size and high latitude location, Canada is projected to experience greater temperature changes than most regions of the world. As a coastal and northern country, and as a renewable resource producer in the forestry, agriculture and fisheries sectors, Canada is more vulnerable than most to damage from climate change.

In the Kyoto Protocol, Canada agreed to reduce emissions of greenhouse gases to 6% below 1990 levels by between 2008 and 2012. In his second report in 1998, the Commissioner of Environment and Sustainable Development audited the federal implementation effort on key international environmental agreements for the period between the Rio de Janeiro (1992) and Kyoto (1997) meetings. The audit found an inadequate implementation effort, characterised by a lack of co-ordination among federal departments, a lack of federal-provincial co-operation and an overall management structure that lacked accountability. In a meeting immediately following Kyoto, federal, provincial and territorial leaders agreed to renew the implementation effort.

---

[4] At "the Earth Summit" in Rio de Janeiro in 1992, 154 states plus the European Community signed the United Nations Framework Convention on Climate Change. The "Conference of Parties" comprises the states that have ratified the Convention (175 as of July 1998) and is the supreme authority of the Convention.

[5] Environment Canada (EC) develops the global and regional general circulation models in Canada and researches climate change, including climate change impacts and adaptation research. It also led the work on the Canada Country Study, the first national assessment on climate change impacts and adaptation. Natural Resources Canada (NRCan) leads federal government research on energy efficiency, alternative fuels, renewable energy and the role of forests in climate change. In addition, the interdepartmental Program of Energy Research and Development (PERD) helps co-ordinate the energy R&D programs of twelve departments. Since April 1996, PERD has increased its support for research related to energy efficiency and climate change.

To that end, the federal government clarified the respective roles of Environment Canada and Natural Resources Canada, created a Federal Climate Change Secretariat and established the Climate Change Action Fund (CCAF) to which was committed $150 million over three years to help Canada meet its commitments under the Kyoto Protocol. The Fund will enable concrete early action to reduce greenhouse gas emissions, lay the foundation for meeting Canada's commitments under the Kyoto Protocol, and engage Canadians in becoming part of the solution. The Secretariat will oversee a multi-stakeholder consultation initiative to examine the impacts, costs and benefits of the Kyoto Protocol, including adaptive measures, and determine immediate and longer-term actions to provide sustained reductions in greenhouse gas emissions. The goal is to have a "step-by-step" national implementation strategy by the end of 1999 and, hopefully, a plan to apportion responsibility for meeting Canada's national targets[6].

In the inter-provincial and industrial arenas, the federal government has agreed to not do anything that will disadvantage Canada's competitive position in the global economy and that a CO_2 reduction strategy to meet the Kyoto Protocol must not impact unfairly on any particular region. Some provinces have stated that they would not launch an emissions reduction campaign until the USA ratified the Kyoto Protocol[7]. Some in the fossil fuel sector, particularly some big coal and petroleum companies and auto producers are leading the charge against climate change science and policy. Major industrial consumers of fossil fuels in the petrochemical and utilities sectors, as well as the transportation sector, will likely experience significant impacts on their operations. Hence, some umbrella industry associations such as the Business Council on National Issues have also taken positions critical of the climate change science and policy proposals. It should be noted that the International Business Council for Sustainable Development and some of the large energy companies such as British Petroleum and Shell have indicated that they will be part of the effort to reduce emissions.

While some members of the fossil fuel and other energy-related industries are pushing the federal government from one side, other industrial sectors such as the insurance industry, which is suffering huge losses due to extreme weather events, is pushing back. So are other sectors that stand to gain from an energy efficiency and alternative fuels strategy, and those that are beginning to sense their own vulnerability from current climate variability. Also, public opinion is slowly moving as the general public begins to better comprehend the issues and what is at stake[8]. It is in this difficult environment of opposing national and international stakeholders that critical decisions must be taken and

---

[6] From Russell, Doug, and Toner, Glen. *Science and Policy when the Heat is Rising: The Case of Global Climate Change Negotiations and Domestic Implementation*. A Paper for the CRUISE Conference on Science, Government and Global Markets, Ottawa, October, 1998, and Government of Canada News Releases, *Federal Government Takes Concrete Action on Climate Change* and *Backgrounder on Climate Change Action Fund*, #98/76(a), October 19, 1998.

[7] On November 12, 1998, the United States announced that it would agree to the Kyoto Protocol.

[8] In a 1998 Environics poll "Respondents were asked whether strong action should be taken on climate change even though scientific uncertainty remains and action could involve major costs". In Canada, a strong majority (67%) said government should assume the worst and take immediate steps to address the problem. Last year, 61% said action should be taken.

strategies formulated for the reduction of greenhouse gases to the levels committed to in the Kyoto Protocol.

At the same time, means and mechanisms must be found to adapt to the results of inevitable climate change since the Kyoto commitments will only slow the change by about a decade. One key aspect, the development and implementation of a national strategy of prevention, mitigation and preparedness for extreme weather events and the concomitant natural disasters, must be an essential component of a climate change adaptation strategy.

IV. What We Know, What is Predicted and What We Suspect About Extreme Weather Events in a Warmer World

The observed global mean temperature increase of the past century of about 0.5°C, and the regional and vertical patterns of temperature changes, have been similar to those projected by general circulation models which estimated probable effects of observed increases of greenhouse gases and aerosols to date. This has also been reflected in observed changes in some extreme weather events.

How would climate change affect the frequency and severity of extreme weather events? First, it is believed that the additional warming will change the distribution of heat and thus the flow of energy through the climate system. This will, in turn, alter the circulation patterns of the atmosphere and the oceans, and it will also modify the hydrological cycle by which water is circulated between the Earth's surface and the atmosphere. As a result, the position of many of the world's major storm tracks could shift significantly.

Secondly, it is expected that a warmer climate would affect the physical processes that generate different types of extreme weather events. A virtually certain outcome of a rise in global temperature is a widespread increase in the amount of water that is moved through the hydrological cycle. Consequently, more moisture will be available in the atmosphere to fall as rain or snow. General circulation models indicate that a warmer atmosphere will increase the amount of moisture transported into the middle and high latitudes of the Northern Hemisphere. These models also suggest that the additional precipitation will likely occur in heavier falls rather than in more snow or rain days.

As will be discussed later in this section, death and injuries, and insured and economic losses from natural disasters are increasing very rapidly. There are some regional evidences of trends in climatic extremes during the past few decades which could help explain some of these rapidly rising disaster loss trends[9].

---

[9] A number of these observed changes in extremes are cited by IPCC (1995) especially in Volume 1 - The Science of Climate Change, Chapter 3. However, IPCC's cautious conclusion is that "...there are inadequate data to determine whether consistent global changes in climate variability or extremes have occurred over the 20th Century".

Extreme Weather-Related Events:

Rainfall Intensities: Among the regionally observed trends, well confirmed by long-term reliable data, are increases in the frequency of extreme rainfall events in the USA, Japan and northern Australia, and the northwest coast of India.[10]. However, there has been no similar detectable trend in shorter period records to 1989, in China or the former Soviet Union. Severe thunderstorms, which can produce heavy rain or hail, and tornadoes, remain a particularly difficult issue for general circulation models because of their small geographic scale. It seems likely that the number and intensity of severe thunderstorms will increase in most areas in a warmer climate

Storm Intensities: Determining changes in frequency and severity of extra-tropical storms in temperate zones is fraught with difficulty because a number of different criteria of intensity can be used (e.g., central atmospheric pressure, strongest winds, heavy rains, etc.) each presenting problems in obtaining long-term consistent sets of data or weather maps. Evidence on how storminess will change in a warmer climate is conflicting and conclusions regarding severe storms, must be viewed with caution.

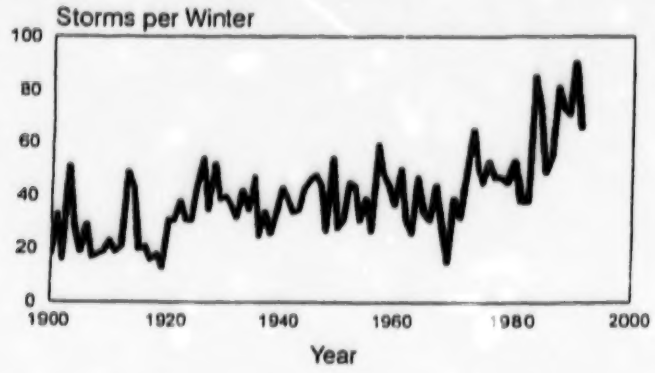
Empirical studies referenced by IPCC present evidence of significant recent increases in the numbers of severe North Atlantic storms[11]. Also indicated are abrupt increases in recent North Pacific storm intensities, and a Northern Hemisphere increase in size and intensity of extra-tropical cyclones. Of particular interest to Canadians is a reported marked increase since the 1970s of very intense winter storms in the Northern Hemisphere (see figure 1). In eastern North America, seven of the eight most intense storms that developed in the past 50 years occurred in the most recent 25-year period.

---

[10] For example, Tom Karl of US National Oceanographic and Atmospheric Administration, and colleagues, reported in *Nature* (1995) that there was a highly significant (20%) increase over USA in the summer season in the proportion of rain occurring in heavy rain days (>50.8 mm) over the period 1911 to 1992. This was also reflected in annual statistics. In a more recent paper these authors showed that the proportion of the USA that has had a much greater than normal amount of precipitation in extremely heavy one day events (>50.8 mm) has steadily increased over the century. They calculate that this result has a less than 1 in 1000 chance of occurring in a quasi-stationary climate and thus is a manifestation of a changing climate.

[11] For example, Bouws, E. Janninie, D., and Kouen, G.J. (1996), found a higher frequency of extreme storms in the North Atlantic winters since 1988/1989 than at any time since 1880. Lambert (1996) found an increase in severe winter cyclones near the Aleutian Low and the Icelandic Low after 1980.

Figure 1: Frequency of Intense Winter Storms in the Northern Hemisphere[12]



For tropical cyclones and hurricanes, data from the World Meteorological Organisation (WMO) yield no evidence of changes in frequency and intensity on a global basis. At the same time, the frequency of North Atlantic hurricanes declined over the period 1970-1987 while those in the western Pacific increased. These changes are much more likely to be due to the relatively persistent warm El Niño Southern Oscillation (ENSO) events of the past two decades, than due to greenhouse forcing of climate. ENSO events tend to depress Atlantic hurricane activity and change the distribution of tropical cyclones in the Pacific. As discussed more fully later in this section, this pattern could become more persistent since some research suggests that the past 15 years of unusual ENSO behaviour is very unlikely to be part of natural variability and may well be reflecting greenhouse gas forcing.

Hail, Tornadoes and Wildfire: There have been few studies of changes in hail occurrence, but an increase in summer hail severity in France has been reported, associated with warmer night-time temperatures. Other small-scale, intense disturbances such as tornadoes have notoriously serious reporting difficulties, but increased frequency of tornadoes on the Canadian Prairies appears to be related to above normal spring and summer temperatures, increasingly evident in the past two decades. This implies that the number of tornadoes may increase in the Canadian Prairies as a result of climate change.

Wildfire increases in Yellowstone National Park from 1985-1990 have occurred as a result of trends in climatic conditions. In the boreal forests of central and northwestern Canada, the area annually disturbed by fire and insects has doubled in the past two decades compared to the previous 50-year period. This is related to statistically significant winter, spring and summer warming trends and probably more lightning. Other factors such as tree age, and fire fighting policy also may have contributed to this increase.

Floods and Droughts: Different regions of Canada can be affected by rainstorm floods, ice-jam floods and snowmelt floods. A shorter winter season under climate change may

[12] Lambert, S.J. (1996).

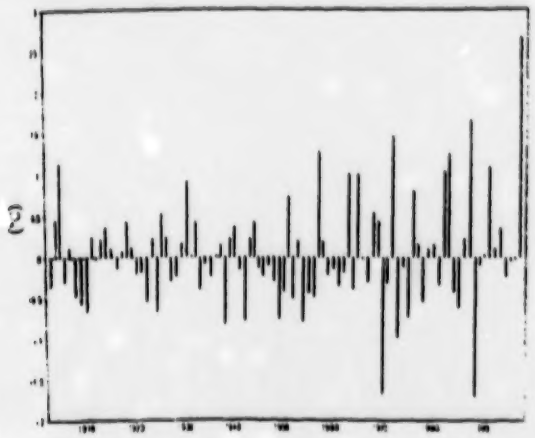
result in a reduced snowpack in many areas and thereby a reduced risk of snowmelt and ice-jam floods. The main concerns about increased flooding result from the fact that a warmer atmosphere can hold more moisture, and precipitation is expected to increase as a result. As well, the precipitation is expected to become more intense over smaller areas, which suggests greater flooding problems especially in smaller catchment areas.

Conversely, regarding droughts, the concern is that with an increase in heavier rainfall events, the number of dry days between events may increase and drought will become more severe. This effect could be worsened by higher air temperatures and increased evaporation. Some general circulation model studies show reduced soil moisture values over the mid-North American continent, suggesting more frequent droughts in the future.

For floods and droughts, other forms of change, such as to land use, are also important factors in the changing severity of extreme weather events. For example, the reduction of woody vegetation, the urbanization of watersheds, increased areas of impermeable surfaces for highways, and some other land use changes, increase the amount of precipitation that quickly becomes surface runoff. Small rivers and streams in affected regions became increasingly "flashy", with higher peak floods and less flow in dry periods.

Effects of El Niño: Since the mid-1970s, El Niños have been both more frequent and more persistent (see figure 2). There has been an undeniable upsurge, at the same time, in both the frequency and intensity of severe weather events. This change in ENSO behaviour can account, at least in part, for many of the weather extremes in the past couple of decades. As noted above, the changing distribution of tropical cyclones and hurricanes is strongly influenced by El Niño and the opposite effect, La Niña. Research is beginning to indicate that climate change may be making the ENSO events more frequent, more persistent, and more intense.

Figure 2: July Sea Surface Temperature Anomalies in the Southern Pacific (ENSO Region 3) (An Indicator of ENSO Intensity)



The United Nations Environment Programme (UNEP) and the US National Center for Atmospheric Research (NCAR) jointly sponsored a workshop in Boulder, Colorado, in July 1998 on the *"Review of the causes and consequences of cold events. A La Niña Summit"*. The workshop concluded that the El Niño 1997-98 phase was over and the less frequent phenomena La Niña, was under way. La Niña is suspected of encouraging more destructive hurricanes like "Georges" which killed over 300 people and caused more than US$5 billion in damages, and recently, "Mitch" which killed over 10,000 in Central America.[13][14] ENSO events, El Niño and La Niña, are increasingly predictable due to research under the World Climate Research Programme and this provides a basis for more reliable seasonal predictions, at least for western Canada and lower latitudes.

Disaster Losses:

Compilation of reliable global or even national disaster loss statistics is a notoriously difficult task in part because there are no standardized approaches to such estimates. Economic loss figures sometimes include indirect costs such as loss of trade, while others include only direct damages. In addition, some loss estimates may be inflated to qualify for government financial disaster assistance[15]. While reservations about the data should be kept in mind, there are good indications that total global economic losses have been rising at a remarkable rate since the early 1960s. Average direct economic losses in constant dollars have risen from about $1 billion US per year in the 1960s to over $50 billion per year in the 1990s. Combined losses due to natural and human-induced catastrophes were estimated by Munich Reinsurance for 1994 at $65 billion and for 1995 at $180 billion. The huge 1995 losses included the Kobe, Japan earthquake estimated at about $80 billion. Only $2 to $5 billion of these totals were from human accidents, the rest from natural disasters. Although only 20% of these economic losses were in low income countries, the impact expressed as percentage of their GNP was 5.5 times that of high income countries.

The Centre for Research on Epidemiology of Disasters (CRED) estimates a total of 1.9 billion people were affected by natural hazard disasters from 1986-1995.[16] This is about one third of the present global population (although some of the people affected may have been counted several times having been visited by more than one disaster over the

---

[13] A review of the El Niño damages of 1997-98 was undertaken at a workshop in Guayaquil, Ecuador in late 1998, organized by the World Meteorological Organization.

[14] Research into these weather-related events is attracting support from other sources: a United Nations fund established by Ted Turner, Co-chairman of Time Warner Inc., has provided $US 650,000 for a UNEP project, *"Reducing the Impact of Environmental Emergencies Through Early Warning and Preparedness - The Case of El Niño Southern Oscillation"*.

[15] Perhaps the most reliable statistics are compiled by the insurance industry, particularly the major re-insurers. Other sources of information are the Centre for Research on Epidemiology of Disasters (CRED), University of Louvain, Belgium, and the Office of Disaster Assistance of US AID. The Secretariat for the International Decade for Natural Disaster Reduction, Geneva and the Japan National Land Agency have provided valuable compilations and analyses.

[16] Cited in *Implications of Climate Change for Natural Hazards*, a presentation given by James P. Bruce (then Chair of the Canadian Climate Program Board), at the Natural Hazards Society, Toronto, 1996

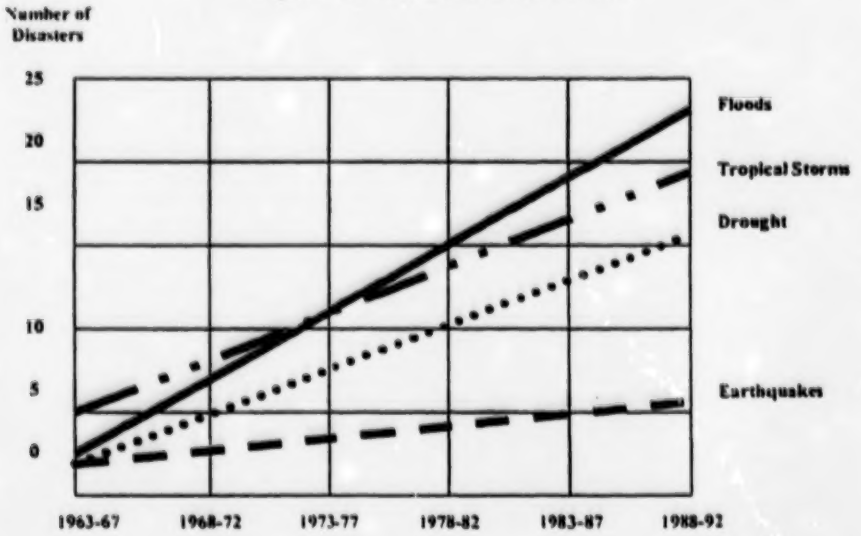
decade). Numbers affected have risen an average of 6% per year over the past two decades, triple the global population growth rate.

Disaster deaths over the past decade were estimated by CRED at 760,000 worldwide.[17] While both economic losses and numbers affected have been surging ever higher, the number of deaths since the mi. 1960s has increased more slowly, probably due to improved mitigation, warning and preparedness systems. It is important to note that between 1985-1992, 88% of deaths were in low income countries.

There is a great disparity between categories of hazards and the global number of deaths and persons affected however, climate-related disasters (storms, floods and droughts) dominate the picture.

The analysis of disaster loss trends which has the greatest value in attempting to assess whether climate-related causes are increasing disproportionately, was that done by the IDNDR[18] Secretariat for the World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, 1994. It provides data on numbers of "major" disasters from 1963-1992[19] (see figure 3).

Figure 3: World Disaster Trends



Over the period, for disasters exceeding 1% of GNP of the affected country, the number of earthquake disasters doubled or tripled, but droughts increased by five to seven times; floods were up eight to 12 times; and tropical storms about four times. For disasters which affected more than 1% of population, floods and droughts also showed the greatest rate of increase, more than twice as rapid as the doubled number of tropical cyclones.

---

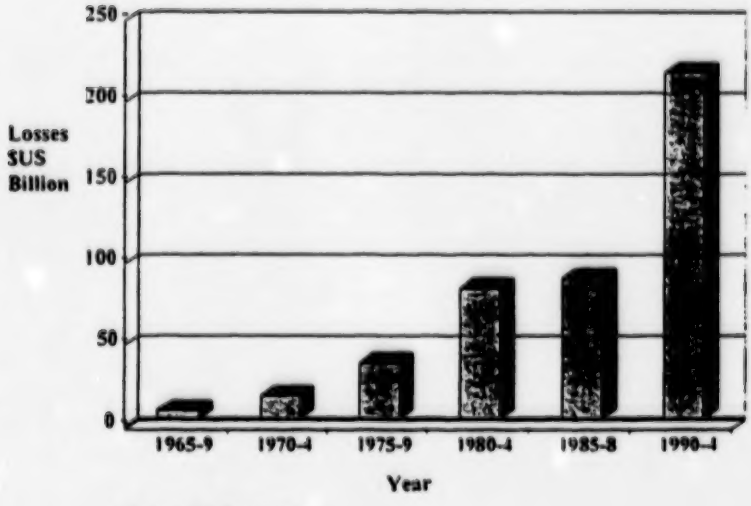
[17] Bruce as above.

[18] The United Nations International Decade for Natural Disaster Reduction

[19] "Major" is defined as:damages of more than 1% of annual GNP of the affected country, number of affected people exceed 1% of the population, and number of deaths greater then 100.

Further evidence of the much more rapid increase of major climate-related disasters is found in data from Swiss and Munich Reinsurance, which indicate that annual economic impacts for major windstorm events (greater than $500 million damages) increased 10 fold between the 1960s and the early 1990s (see figure 4).

Figure 4: Five Year Global Insured Losses, 1965-1994 (US 1992 Billion $)



Global GDP (trillion):			
1965	1970	1980	1990
$8.5	$10.5	$15.5	$21

Sources: National Land Agency, Japan & Munich Re.

A fifty-fold increase in direct economic disaster losses from 1965 to 1994 far outstrips the trebling of total global GNP during the same period. It is also a far faster rate of increase than the growth of the world's population from about three billion to 5.6 billion during the same period.

If it is considered that the increased earthquake disaster losses is generally proportional to the global increase in population and exposed infrastructure, why are climate related losses increasing many times more rapidly? It is difficult to determine whether there is a greater rate of economic development in areas affected by floods and storms, than those affected by earthquakes however, in many parts of the world, these are basically the same regions, and it is unlikely that differential development could account for the large differences in rate of change. Thus, the much more rapidly increasing rate of loss from climatically related disasters such as from floods, storms and droughts may indeed suggest that these latter hazards may be increasing in frequency and severity.

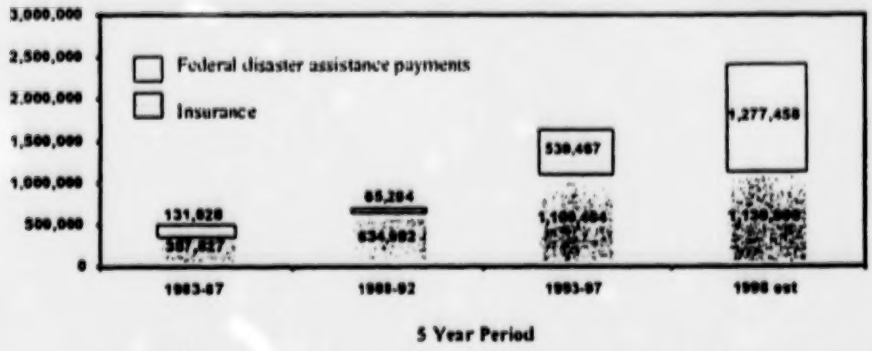
In Canada, Table 2 and figure 5 show that insured losses caused by severe weather-related events match or exceed those averages portrayed above for the rest of the world rising over 30 times from losses in 1984 of about $39 millions to the huge loss in 1998 exceeding $1,450 millions.

Table 2; Disaster Losses in Canada, 1984 – 1998 [20]

YEAR	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
LOSS $MIL.*	39	101	12	170	87	14	16	484	94	255	200	376	760	205	1450

Note: Loss figures are insured losses and do not include all economic losses such as residential losses in floods which are not insurable.

Figure 5: Costs of Weather-Related Disasters to Federal Government and Insurers, 1983-1998 ($000s)



Note that the insurance industry portion for the 1993-97 interval includes an estimate of $100 million for 1997; federal disaster assistance payments and insurance industry totals for 1998 are incomplete.

Summary of Past Changes: From this brief review the following points emerge:

1. Global losses in weather-related disasters have escalated enormously over the past few decades, three times as rapidly as for earthquake disasters and a similar trend is apparent in Canada.
2. Three factors appear to have caused this increasing disaster toll:
   a) increased population and infrastructure exposed to the hazards;
   b) changes in land use affecting flood and drought frequency and;
   c) increases, at least regionally, in frequency of heavy precipitation and severe extra-tropical storms.

[20] From Angus Ross, Sorema Reinsurance.

3. The relative importance of these three factors is difficult to determine from available data.
4. Disaster mitigation measures, especially warning and preparedness systems for floods and storms, and safer building design for earthquakes, high winds and snowloads, particularly in economically developed countries, have limited the increase in numbers of deaths, but appear not to have had a major impact on economic losses or numbers of affected people.

Projections of extreme weather events for Canada: The northern geographic location of Canada and its huge surface area covering arctic tundra, interior plains and extensive coastlines will expose the country to extremes of most types of weather systems creating a high probability of related disastrous events. While projections are notoriously difficult, most studies have projected that CO_2-equivalent concentrations in the atmosphere will double from pre-industrial times to the middle of the next century. Without major intervention under the UN Framework Convention on Climate Change, the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicated the following projections for Canada:[21]

- In general, for every 1°C increase in global temperature, about 5% more precipitation will occur due to a speeding-up of the evaporation process. Extremes of the hydrological cycle (floods, droughts), should therefore become more frequent. Heavy precipitation events could increase in frequency by more than 50% and the intensity by as much as 50%. What are now 20-year return events could become 10-year occurrences.
- A greater frequency of heavy rainstorms and landslides is anticipated, especially in western Canada.
- Recent data indicate much increased forest fires, and threats to many forest-area communities. As much as 30 to 50% of the boreal forest land area could be affected in the next 50 years. In Canada, the number of lightning fires could increase by 44%, and area burned by 78%.
- Winters are likely to be warmer and wetter; summers warmer and drier. In some regions, this could result in reduced snowpacks to feed rivers and water storage reservoirs in summer, possibly leading to power and water supply shortages, as well as increased forest fires, insect infestations and crop damage. In other regions, extreme winter snowfall events are predicted to increase in frequency.
- Evidence for observed changes in drought frequency is not consistent or convincing, but drought frequency and severity in major cereal growing regions of Canada could increase in the future.

[21] Cited in *Implications of Climate Change for Natural Hazards*, a presentation given by James P. Bruce (then Chair of the Canadian Climate Program Board), at the Natural Hazards Society, Toronto, 1996.

- The mean sea level has risen between 10 and 25 cm over the past century. Projections of future rates of increase in a warming world are 2 to 5 times these past rates with a mid-range projection of a 0.5 metre rise by 2100. Estimates are that the world population exposed to coastal flooding would double from 46 to 92 million with a 0.5 metre sea level rise. In Canada, this would affect communities on all three coasts.

V. Disaster Mitigation and Preparedness: Prevention Pays

Despite a great deal of effort and many advances in the mitigation of natural disasters, there continue to be huge losses in human life, injury and property damage every year with the prospect of substantial increases in the future due to climate change and other factors. As discussed above, projections for Canada indicate that extreme weather events will likely increase markedly in almost every area of the country.

Why change? Some are of the opinion that no major actions should be taken until the evidence of climate change is more certain and the link to increased frequency and severity of climate-related natural disasters is verified. However, to delay taking action until the scientific conclusions are confirmed may be extremely risky as irreversible changes may have already occurred and additional enormous economic and human losses may have been suffered through natural disasters which could have been prevented or mitigated against. It would appear that sufficient economic and social benefits may flow from actions that improve disaster prevention and mitigation to justify these activities on their own merits.

A higher priority for hazard prevention, mitigation and preparedness. As society becomes more complex, the economic and societal costs of natural disasters are increasing every year as discussed above. Demographic projections suggest that more and more Canadians will live and work in regions with significant natural hazard risk. The need to encourage timely, cost-effective means to save lives, reduce property damage, and limit disaster costs has never been more apparent, particularly with the prospect of extreme weather events becoming more frequent and severe due to climate change. This calls for a higher national priority for hazard mitigation, prevention and preparedness activities. Clearly, in spite of past efforts, a need exists to renew and improve the framework for setting long-term national goals and the establishment or improvement of technical standards and a system of evaluation of progress.

Losses from weather extremes are not simply something to worry about in the future. Canadians suffer losses from their climate now. While the 1998 Ice Storm, the Red River flood of 1997 and the Saguenay flood of 1996 cannot be directly attributed to climate change, they are consistent with the kind of extreme weather events likely to be associated with the destabilization of the atmosphere and the intensification of the hydrological cycle. Much of the loss suffered as a result of these events reflect the degree and type of measures previously adopted or not adopted. There are also cases of where previous development practices have served to increase human vulnerability to natural disasters (e.g., infrastructure development and modification on floodplains for human

habitation).

Environmental aspects of disasters. The link between natural disasters and environmental pollution is not precise and clear; however, enormous pollution of Canada's air, land and water occurs from forest fires, and during droughts (soil erosion). Water pollutant releases during rainfall and flooding events are greatly increased because of storm sewer inadequacies related to increased paving and higher intensity rains since the mid-1980s. These events may be the largest cause of water pollutant spills[22].

Secondary impacts of disasters. Concern about the cooperation among and the interaction in mitigation activities of parties responsible for public health, food supplies and environmental aspects should encourage a greater degree of mutual support and assistance in these areas at the federal, provincial and local levels. Recent experiences in Canada of floods and recurring agricultural droughts have had serious consequences for individuals, businesses, communities and government treasuries. The secondary effects of severe weather-related disasters can extend to[23]:

- *Human health effects*. An increase in the frequency and intensity of heat waves could lead to more illness and deaths, particularly in sensitive populations in large urban areas in southern Ontario and southern Quebec. An increase in the frequency of severe storms including tornadoes and heavy rains would also lead to an increased number of injuries and deaths.
- *Water resources impacts*. Although Canada has abundant water resources, shortages in some areas already lead to conflicts over partitioning of supply. A warmer climate is likely to have an enhanced hydrological cycle with precipitation falling in less frequent, but heavier events with longer dry periods in between. This is particularly true for the Canadian Prairies.
- *Ecosystems*. Climate change is likely to bring a northward shift of vegetation. This would affect industries, such as forestry and tourism that depend on them. Although there would be productivity gains in some regions, there would be losses in others.
- *Infrastructure*. Most of our buildings, roads and sewer systems are designed for the climate we have experienced in the past 50 years or so. Changes in climate could require changes in design and replacement of buildings and structures before they have outlived their design lifetimes. In the north, structures such as homes and pipelines would be at risk from melting permafrost and slumping land. Increased intensity of precipitation in mountain regions also brings the increased risk of landslides and avalanches.

Risk management: Responses to extreme weather events will require a mix of social and political processes to manage the risks. Better documentation of the available tools

---

[22] From Environment Canada's *Summary of Spill Events in Canada, 1984 - 1995*, July 1998. See especially Table 2.2.1.b., and figure 2.2.3.

[23] From the report by the Canadian Climate Program Board to the National Climate Change Secretariat, *Understanding and Adapting to Climate Change*, citing the IPCC report on the "Regional Impacts of Climate Change" and the "Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation".

to analyze and manage certain risks will assist in consistent application. In particular, hazard identification and analysis is needed for all natural hazard events and environmental pollution and technological disasters associated with them.

There are a number of tools readily available for mitigation and prevention of most extreme weather-related events and these include, among other things:

- land use planning and management;
- building codes and standards;
- insurance;
- prediction forecasting;
- warning;
- engineering and;
- new technologies.

Canadians are fortunate to have a National Standard[24] that lays out and explains the iterative and interrelated process of risk management. This well-understood, systematic and science-based process could and should be applied to the prevention, mitigation and preparedness activities related to natural disasters, just as it has been successfully used in managing the risks associated with technological disasters.

Cooperation is the key. Cooperative working groups of stakeholders among public and private sector organizations, particularly key departments of government at federal, provincial/territorial and municipal levels need to come together to examine the application of these tools for the optimum effect. The cost of revising and applying some of the most effective mitigation tools, such as building codes, engineering standards and public works will be a major area of concern and will have be addressed in any national plan. This will be discussed more fully in the following section.

In summary, the likelihood of greater and more frequent weather-related disasters in future could provide impetus to national cooperation in two main activities:

- increased efforts towards improving disaster warning, preparedness and prevention activities under the umbrella of the United Nations International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR).
- increased actions to limit greenhouse gas emissions to meet or better Canada's commitment under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC).

At the local level, there are a number of things that could be considered which would help prevent disasters, lessen their impact, improve our response or speed up recovery:

- Do everything reasonable at a personal level and within the community to reduce greenhouse gas emissions.

---

[24] See National Standard of Canada. CAN/CSA-Q850-97, *Risk Management: Guideline for Decision-Makers*. Canadian Standards Association, 1997.

- At the risk management level, use the tools and techniques developed for the risk management process for the prevention, mitigation and preparedness aspects of natural disasters. Reference the risk management national standard, Q850-97, *Risk Management: Guideline for Decision-Makers*.
- Anticipate that severe weather events will be more frequent than has been expected in the past; 100-year flood events may now become 50-year return events and 200-year events, 100. This has important implications for public works such as flood prevention, dyking and berming, sewer design etc[25].
- Assist preparedness activities at the local and municipal levels by encouraging and participating in coordinating meetings and committees, and pushing for action. It should be considered unacceptable that a municipality does not have a tried and tested municipal plan for all relevant hazards.
- Severe disasters often leave the family unit to cope on its own for 24 to 48 hours. It is tragic to note that failure to be able to cope at this level causes many, if not most, of the casualties in the immediate aftermath of a disaster. Public outreach programs should focus on the need to develop this minimal self-sufficiency at the family unit level.

VI. Key Adaptation Strategies for a Changing Climate: Mitigation and Preparedness Concepts

As discussed above, it is now generally accepted that some form of change in our climate is actually occurring and will continue to occur for a number of decades in spite of plans for reductions in greenhouse gas emissions and levels. One aspect to which we must adapt is the increasing frequency and severity of extreme weather events and the associated natural disasters. There are two main reasons for the imperative of adaptation. First, the impacts of climate change, and hence, its danger to society, can be modified by adaptations of various kinds. Second, adaptation is considered to be an important policy option or response strategy to concerns about climate change complementary to reducing net emission of greenhouse gases[26].

Perhaps at this point the meaning of the term "mitigate" or "mitigation" and some of the risk management and disaster management terms should be clarified, since they are used somewhat differently by the climate change and the emergency preparedness communities.

---

[25] See Zwiers, The return frequencies will be approximately halved.

[26] Smit, B., Burton, I., Klein, R.J.T.: (1998 forthcoming), 'The Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability', a paper prepared for a Special Issue of *Climatic Change on Societal Adaptation to Climatic Variability and Change*.

Table 3: Terminology

hazard	A source of potential harm, or a situation with a potential for causing harm, in terms of human injury, damage to health, property, the environment, and other things of value, or some combination of these[27].
mitigation	In the climate change lexicon, a mechanism, means or process for reducing the net emission of greenhouse gases or increasing the capacity or number of carbon "sinks" or depositories.
mitigation	In the language of the emergency preparedness community, mitigation means to cause to become less harsh, hostile; severe or painful; to moderate or secondarily, to carry out sustained action to reduce the risk to life, property and the environment from disasters of all types[28].
prevention	An emergency preparedness term meaning an action or actions to keep from happening or forestalling an emergency, disaster, spill or release.
risk	The chance of an injury or loss as defined as a measure of the probability and severity of an adverse effect to health, property, the environment, or other things of value[29].
Risk management	The systematic application of management policies, procedures, and practices to the tasks of analyzing, evaluating, controlling, and communicating about risk issues[30].

Adaptation to climate is not new. Over thousands of years, human societies have successfully adapted to climate in all its variety. This adaptation has been so successful that human beings, unlike any other species, can live and flourish in practically every climatic region on the planet. Climate varies much more from place to place, than over time. Human ingenuity has brought about successful adaptation everywhere. Given that humans can successfully adapt to almost any climate, the main concern about adaptation is because it takes time and may be costly.

Adaptation to our current climate has been carefully and painstakingly built, over decades and centuries, into virtually all designs and practices. The cost of adapting to the current climate in Canada each year is estimated to be over $11.6 billion. So pervasive is this accomplishment that it is scarcely recognized. However, these annual expenditures do not include measures to prepare for extreme weather events.

---

[27] National Standard of Canada, CAN/CSA-Q850-97, *Risk Management: Guideline for Decision-Makers*, Canadian Standards Association, 1997, page 3

[28] From the Emergency Preparedness Canada draft paper, *A National Policy for Mitigation*, October 1998.

[29] CAN/CSA-Q850-97.

[30] CAN/CSA-Q850-97.

Strategies for adaptation of human systems to a changing climate can include technological, economic, legal or institutional mechanisms. Some of the adaptive strategies listed below have existed for many years. However, they have been inadequately or incompletely applied in the past to mitigate the effects of natural disasters. These include, among others:

- Land use restrictions, especially for floodplains, coastal shorelines, landslide-prone areas and other areas considered to be at risk.
- Safety and fire codes for buildings and other structures that could affect the public.
- The adoption of a system for emergency management, including education and training, and public outreach.
- Public prevention and mitigation infrastructure adjustments - dams and weirs, flood channels, dykes, land stabilization works, transmission towers, communication devices and channels, etc.
- Establishing effective programs for post-disaster recovery and support to provincial and local governments.
- Providing public health, agricultural and environmental programs that ensure the survival and effective functioning of critical public services.
- Revised flood plain mapping and codes for snow and wind loading and return frequencies. Adjusting to new realities - e.g.,"200-year" floods become "100-year" floods.
- Disaster response:
  - new responsibilities for emergency services and other agencies to deal with the expected increases in extreme weather events.
  - public expectations and the need for individual and family self-sufficiency for periods of time in the early stages of disasters.
  - changing emergency services structures.
- Recovery - new strategies for continuation of government and business operations. Getting community life back to "normal".

VII. Suggested Next Steps and Some of the Issues They May Create

This section is intended to stimulate thought and discussion about what could or should happen next in the process of considering the implications of a changing climate on prevention, mitigation and preparedness aspects of extreme weather-related events and natural disasters. The views are those of the authors.

Clarifying and confirming the science: There has been, and continues to be, an enormous amount of research in the climate change and severe weather fields. The results of this research will have a huge impact on the emergency preparedness and response communities. There may have to be new processes, mechanisms, alliances and

partnerships developed to ensure that the latest information is disseminated to and incorporated by those who should have it.

Strengthening existing prevention, mitigation and preparedness policies: Significant changes in the frequency and severity of weather-related events should cause changes to codes, regulations, and practices that govern many aspects of our daily lives. Such variables as wind, water and snowloads for building codes, return rates for floods, rain, hail and snow storms, floodplain maps, crop insurance criteria, crop rotation practices, design criteria for municipal structures like sewers and water supplies, engineering design criteria for roads, bridges, dams and other structures and a host of other practices will require substantial modification. Public health practices alone represent a huge area that will be affected by changes to the frequency and severity of extreme weather-related events and natural disasters. The process of changing these codes, standards, practices etc. will likely be very difficult, divisive and expensive.

Emergency preparedness is central to the protection of populations and infrastructure in natural disasters. What may be needed in Canada is a new and comprehensive national emergency preparedness strategy developed by the federal and provincial/territorial governments and supported enthusiastically by municipal and local governments.

Adopting the risk management process. The risk management process as defined and laid out in the new National Standard of Canada, Q850-97, *Risk Management: Guidelines for Decision-Makers*, presents an opportunity for adoption by the emergency preparedness community as a comprehensive process for managing the risks associated with climate-related natural disasters. This process includes some of the successful practices currently used by preparedness professionals, such as hazard identification and analysis. However, it adds new aspects such as risk assessment, risk control and risk communications which could greatly benefit the preparedness process. The risk management process emphasises the iterative nature of the whole process that is an important aspect of emergency preparedness.

Engagement of key stakeholder groups: To date, the issues surrounding climate change have involved specialized groups such as climate scientists, environmental groups, some levels of government and various private sector interests (including the insurance and reinsurance industry, and the energy sector). The groups are dominantly those who have perceived identifiable threats from climate change issues but who are also largely driven by the global warming agenda. Similarly, the issues surrounding weather-related natural disasters have their own proponents. They are primarily the concern of preparedness and response organizations at the federal-municipal level, non-governmental organizations, the agriculture and agri-food sectors and the transportation sector, among others. Historically, there has not been a lot of common ground between the agendas of the two groups, i.e., of adaptation to climate change and mitigation of weather-related natural disasters. There is considerable scope for engagement of these two groups, plus a broader community, to work simultaneously on the issues - the common ground is risk reduction.

Identifying additional issues or special themes: Some have characterized the impact on human civilization of a changing climate to be more profound than the atomic era or the information age. Even if this is not the case, there will be many issues, which may warrant workshops or future research. It will be important for the engaged and enlightened stakeholder groups to maintain a watching brief so that policies and strategies can be adjusted to changes in predictions and outcomes. Some of the additional areas that could warrant priority attention include:

- *Environmental pollution aspects* - natural disaster-related spills and releases of pollutants into air, water and land systems.
- *Health impacts* - weather-related disaster mortality, infectious and epidemics, respiratory diseases related to poor air quality.
- *Agricultural and agri-food aspects* - disaster-related damages, irrigation requirements, crop yield, crop diseases and infestations.
- *Forest concerns* - increases in forest fires and other damages, changes in forest compositions, and geographic range, forest health and productivity.
- *Water resources concerns* - susceptibility to disaster-related changes, changes in water supply and quality, increased competition for supplies.
- *Coastal area aspects* - flooding of coastal lands and communities, damage to coastal infrastructures and shore erosion.

Making changes. People are not generally interested in "emergencies" in normal times and tend to deny that there could be problems. In a crisis, governments see their role as "rescuer" or "helper". Immediately following an emergency or crisis, the political level is more favourably disposed to making changes to the emergencies or risk management system. Emergency preparedness professionals who wish to make changes to the emergencies or risk management system should consider having all the ground work done for desired changes in advance with the intention of obtaining approval from the political level when conditions are right - that is, immediately following a disaster.

There will be large economic and social benefits in increasing and improving disaster preparedness and mitigation efforts. As the rising trend in the frequency and severity of weather-related events and the associated destruction, damage, injury and loss of life clearly indicates, improved disaster preparedness and mitigation is an imperative in a changing climate.

Part 1: Climate Change Science

Bengtsson, L., M. Botzet, and M Esch, 1996. Will greenhouse gas-induced warming over the next 50 years lead to higher frequency and greater intensity of hurricanes? *Tellus*, 48A, 57-73.

Born, K., 1996. Tropospheric warming and changes in weather variability over the northern hemisphere during the period 1967-1991. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 56, 201-215.

Bouws, E., Janninie, D., and Kouen, G.J., 1996. The increasing wave height in the North Atlantic Ocean., *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(10), 2275-2277.

Broccoli, A.J., Manabe, S., and Mitchell, J.F.B., 1995. Comments on Global climate change and tropical cyclones: Part II, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, 2244-2245.

Bruce, J. P., 1994. Natural Disaster Reduction and Global Change, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75(10), 1831-1835.

Burroughs, W.J., 1992. Weather cycles: Real or imaginary?, Cambridge University Press. Cambridge.

Carnell, R.E., Senior, C.A., and Mitchell, J.F.B., 1996. An assessment of measures of storminess: simulated changes in northern hemisphere winter due to increasing CO_2 *Climate Dynamics*, 12, 467-476.

Cubasch, U., Waszkewitz, J., Hegerl G., and Perlwitz, J., 1995. Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. *Climatic Change*, 31, 275-304.

Davis, R.E. and Dolan, R., 1993. Nor'easters. *American Scientist*, 81, 228-439.

Dessens, J., 1995. Severe convection weather in the context of a nighttime global warming. *Geophysical Research Letters*, 22, 1241-1244.

Dixon, R,K., and Krankina, O.N., 1993. Forest fires in Russia: Carbon dioxide emissions to the atmosphere, *Canadian Journal of Forest Research* 23, 700-705.

Emanuel, K.A., 1995. Comments on Global climate change and tropical cyclones: Part I. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, 2241 - 2243.

Environment Canada, 1995. The State of Canada's Climate: monitoring variability and change. Environment Canada, Downsview, Ontario. SOER Report No. 95-2.

Etkin, D., 1998. Climate change and extreme events. *Canada Country Study: climate impacts and adaptation. Volume VIII: National Cross-Cutting Issues*, Mayer, N., and Avis, W., eds. Environment Canada, Environmental Adaptation Research Group, Downsview, pp. 31-80.

Etkin, D., 1995. Beyond the year 2000: More tornadoes in western Canada? Implications from the historical record. *Natural Hazards*, 12, 19-27.

Folland, C. K.,. Karl, T.R., Ya, K., Vinnikov, 1990. Observed climate variation and change. *Climate Change: The IPCC scientific assessment.* Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephraums, J.J., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 195-238.

Foukal, P., and Lean, J., 1990. An empirical model of total solar irradiance variation between 1874 and 1988, *Science*, 247, 556-558.

Fowler, A.M., and Hennessey, K.J., 1995. Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation. *Natural Hazards*, 11, 283-303.

Francis, D., and Hengeveld, H., 1998. Extreme Weather and Climate Change. *Climate Change Digest*, Minister of Supply and Services, Ottawa.

Gordon, H.B., Whetton, P.H., Pittock, A.B, Fowler, A.M., and Haylock, M.R, 1992. Simulated changes in daily rainfall Intensity due to the enhanced greenhouse effect: implications for extreme rainfall events. *Climate Dynamics*, 8, 83-102.

Gregory, J. M., and Mitchell, J.F.B., 1995. Simulation of daily variability of surface temperatures and precipitation over Europe in the current and 2 x CO_2 climates using the UKMO climate model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121, 1451-1476.

Haigh, J.D., 1994. The role of stratospheric ozone in modulating the solar radiative forcing of climate. *Nature*, 370, 544 -546.

Haigh, J.D. 1996. The impact of solar variability on climate. *Science*, 272, 981-984.

Hall, N.M.J., Hoskins, B.J., Valdes, P.J., and Senior, C.A., 1994. Storm tracks in a high resolution GCM with doubled CO_2. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120, 1209-1230.

Hansen, J.E., Lacis, A., Ruedy, R., Sato, M., and Wilson, H., 1993. How sensitive is the world's climate? *National Geographic Research and Exploration*, 9, 142-158.

Henderson-Sellers, A., and McGuffie, K., 1995. Global climate models and dynamic vegetation changes, *Global and Change Biology*, 1, 63-76.

Hennessev, K.J. and Pittock, A. B., 1995. Greenhouse warming and threshold temperature events in Victoria, Australia. *International Journal of Climatology*, 15, 591-612.

Hogg, W.D., Cycles and Trends in Time Series of Canadian Extreme Rainfall, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview, Ontario, unpublished.

IPCC, 1992. Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Assessment. 1990. IPCC Secretariat, Geneva.

IPCC, 1996a. *Climate change 1995: The science of climate change*, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira-Filho, L. G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge. 572 pp.

IPCC, 1996b. *Climate change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H., eds. Cambridge University Press, Cambridge. 880 pp.

IPCC, 1996c. *Climate change. 1995: Economic and social dimensions of climate change.* Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Bruce, J.P., Lee, H., and Haites, E., eds. Cambridge University Press. Cambridge. 498 pp.

Kaas. E,. Li, T.S., and Schmith, T., 1996. Statistical hindcast of wind climatology in the North Atlantic and northwestern European region. *Climate Research* 7, 97-110.

Karl, T.R., Knight, R.W., and Plummer, N., 1995. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, 377, 217-220.

Karl, T.R., Knight, R.W., Easterling, D.R., and Quayle, R.G., 1996. Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 279-292.

Kattenberg, A., Giorgi, F., Grassi, H., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R. J., Tokioka, T., Weaver, A.J., and Wigley, T.M.L., 1996. Climate models-projections of future climate. *Climate change 1995: The science of climate change*, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L. G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 285-358.

Knutson, T.R., Tuleya, R.E., and Kurihara, Y., 1998. Simulated increase of hurricane intensities in a CO_2 warmed climate. *Science*. 279, 1018-1020.

Knutson, T.R., and Manabe, S., 1998. Model assessments of decadal variability and trends in the tropical Pacific Ocean, *Journal of Climate*, 11(9), 2273-2296.

Kurz, W.A., and Apps, M.J., 1995. Analyses of future carbon budgets of Canadian boreal forests. *Boreal Forests and Global Change*, Apps, M.J., Price, D.T., and Wisniewski, J., eds. Kluwer Academic Publishers, pp. 321-331.

Lambert, S.J., 1995. The effect of enhanced greenhouse warming on winter cyclone frequencies arid strengths. *Journal of Climate*, 8, 1447-1452.

Lambert, S.J., 1996. Intense extratropical northern hemisphere winter cyclone events: 1899-1991. *Journal of Geophysical Research*, 101, 21219-21325.

Landsea, C.W., Nicholls, N., Gray W.M., and Avila, L.A., 1996. Downward trend in the frequency. of intense Atlantic hurricanes during the past five decades. *Geophysical Research Letters*, 23, 1697-1700.

Lean, J., Beer, J., and Bradley, R., 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change, *Geographic Research Letters*, 22, 3195-3198.

Lighthill, J., Holland, G., Gray, W., Landsea, C., Craig, G., Evans, J., Kurihara, Y., and Guard, C., 1994. Global climate change and tropical cyclones. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75, 2147-2157.

London, S.J., Warren, S.G., and Hahn, C.J., 1991. Thirty-year trend of observed greenhouse clouds over the tropical Oceans. *Advances in Space Research*, 11(3), 45-49.

McCulloch, J. and Etkin, D., eds., 1994. Proceedings of a workshop on improving responses to atmospheric extremes: The role of insurance and compensation. Environment Canada, Downsview, Ontario.

Meehi, G.A., Branstator, G.W., and Washington, W.M., 1993. Tropical Pacific interannual variability and CO_2 climate change, *Journal of Climate*, 1, 42-63.

Nichols, N., Gruza, G.V., Jouzel, J., Karl, T.R., Ogallo, L.A., and Parker, D.E., 1996. Observed climate variabilitiy and change. *Climate change, 1995: The science of climate change*. Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 133-192.

O'Brien, J.J., Richards, T.S., and Davis, A.C., 1996. The effect of El Niño on U.S. landfalling hurricanes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 773-774.

Ostby, F.P., 1993. The changing nature of tornado climatology. *Preprints: 17th conference on severe local storms*, October, 1993 St. Louis Missouri, pp. 1-5.

Pearce, D.W., Cline, W.R., Achanta, A.N., Frankhauser, S., Pachauri, R.K., Tol, R.S.J., and Vellinga, P., 1996. The social costs of climate change: Greenhouse damage and the benefits of control. *Climate change. 1995 Economic and social dimensions of climate change*. Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change Bruce, J.P., Lee, H., and Haites, E., eds. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 179-224.

Pielke, R. A. Jr., and Landsea, C.W., 1997. Normalized hurricane damages in the United States: 1925-1995. Draft paper, National Center for Atmospheric Research, Boulder Colorado.

Price, C., and Rind, D., 1994. Possible implications of global climate change on global lightning distributions and frequencies. *Journal of Geophysical Research* , 99, 10823-10831.

Saunders, M.A., and. Harris, A. R., 1997. Statistical evidence links exceptional 1995 Atlantic hurricane season to record sea warming. *Geophysical Research Letters, 24,* 1255-1258.

Schmidt, H. and von Storch, H., 1993. German Bight storms analysed, *Nature,* 365, 791.

Shine, K.P., Fouquart, Y., Ramaswamy, V., Solomon, S., and Srinivasan, J., 1995. Radiative forcing. In *Climatic change, 1994.* Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J.P., Lee,. H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 163-204.

Stewart, W., and Dickey, P., 1993. Corporate Responsibility. *Ethics and Climate Change: The Greenhouse Effect,* Coward, H., and Hurka, T., eds. Calgary Institute for the Humanities.

Street, R., 1997. Weather impacts in Canada. Paper presented at the Workshop on the Social and Economic Impacts of Weather, Boulder, Colorado. 2-4 April, 1997.

Sun, D.Z., 1997. El Niño: A coupled response to radiative heating? *Geophysical Research Letters,* 24, 2031-2034.

Suppiah, R. and Hennessey, K.J., 1996. Trends in the intensity and frequency of heavy rainfall in tropical Australia and links with the southern oscillation. *Australian Meteorological Magazine,* 45, 1-18.

Tsonis, A.A., 1996. Widespread increases in low-frequency variability of precipitation over the past century. *Nature,* 382, 700-702.

Von Storch, H., Guddak, J., Iden, K.A., Junsen, T., Perlwitz, J., Reistad, M., de Ronde, J., Schmidt, H., and Zorita, E., 1993. Changing statistics of storms in the North Atlantic? *Report No. 116.* Max Planck-Institute für Meteorologie, Hamburg.

Wetherald, R.T., and Manabe, S., 1995. The mechanisms of summer dryness induced by greenhouse warming, *Journal of Climate,* 8(12), 3096-3108

Whetton, P. H., Fowler, A.M., Haylock, M.R., and Pittock, A. B., 1993. Implications of climate change due to the enhanced greenhouse effect on floods and droughts in Australia. *Climatic Change,* 25, 289-317.

Zwiers, F.W., and Kharin, V.V., 1998. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO_2. Doubling. *Journal of Climate*, 11(9), 2200-2222.

Part 2: Prevention, Mitigation and Preparedness

Adams, R.M., Fleming, R.A., McCarl, B., and Rosenzweig, C., 1993. A Reassessment of the Economic Effects of Global Climate Change on U.S. Agriculture, *Climatic Change* 30, 147-167.

Apuuli, B., Wright, J., Elias C., Burton, I., 1998. Reconciling National and Global Priorities in Adaptation to Climate Change: An Illustration from Uganda. *Adaptation to Climate Variability and Change*, IPCC Workshop, San Jose, Costa Rica. March 29-April 2, 1998.

Ausubel, J.H., 1991. Does Climate Still Matter?, *Nature*, 350, 649-652.

Bijlsma, L., Elder, C.N., Klein, R.J.T., Kulahrestha, S.M., McLean, R.F., Mimura, N., Nicolls, R.J., Nurse, L.A., Pérez Nieto, H., Stakhiv, E.Z., Turner, R.K., and Warrick, R.A., 1996. Coastal Zones and Small Islands, *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H., eds. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 289-324.

Blaikie, R., Cannon, T., Davis, I., and Wisner, B., 1994. *At Risk: Natural Hazards, People's Vocabulary, and Disasters*, Routledge, London.

Bruce, J.P., 1996. *Implications of Climate Change for Natural Hazards*, Notes for a presentation given at the Natural Hazards Society, Toronto.

Burton, I., 1998. We Can, Must and Will Adapt, *Adapting to Climate Change and Variability in the Great Lakes-St. Lawrence Basin*, Mortsch, L.D., Quon, S., Craig, L., Mills B., and Wrenn B., eds. Proceedings of a Binational Symposium. May 13-15, 1997, Toronto, Ontario. Environmental Adaptation Research Group, Waterloo, pp. 78-86.

Burton, I., Feenstra, J., Smith, J., and Tol, R eds., Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. *Draft Report*. Institute for Environment Studies (IVM) Free University of Amsterdam, Netherlands.

Burton, I., 1998. Climate Adaptation Policies for Canada *Policy Options*, 19(4), 6-10.

Burton, I., 1997. Vulnerability and Adaptive Response in the Context of Climate and Climate Change, *Climatic Change* 36: 185-196.

Burton, I., 1996a. The Growth of Adaptation Capacity: Practice and Policy. *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds., Springer, New York pp. 54-67.

Burton, I., 1996b. The Evolution of Adaptation in Response to Climate Change. *Proceedings of 14th International Congress of Biometeorology,* September 1996, Ljubljanan, Slovenia, pp. 44-52.

Burton, I., 1996c. Atmospheric Hazards. *Encyclopedia of Climate and Weather.* Stephen H. Schneider ed. Simon and Schuster, New York.

Burton, I., 1995a. The Atmosphere as a Resource *Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation.* Proceedings of the Regional Workshop, Prague, Czech Republic, September 11-15, 1995, Ivana Nemeová ed.

Burton, I., 1995b. Towards a Law of the Atmosphere: The Integration of Atmospheric Science and Policy. Paper presented at the *Atmospheric Hazards Process, Awareness and Response Workshop* September 20-22, 1995, Brisbane Australia.

Burton, I., 1995c. Adaptation to Climate Change and Vulnerability: An Approach Through Empirical Research, *Climate Change Impact Assessment and Adaptation Option Evaluation: Chinese and Canadian Perspectives.* Proceedings from the Canada-China Workshop on Climate Change Impacts and Adaptations. Yin, Y., Sanderson M., and Guangsheng R.. eds. Beijing, May 15-19, 1995.

Burton, I., 1995d. Natural Environmental Hazards. *Environmental Science and Engineering.* Heinke G.W., and Henry G., eds, Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, Second edition, 1995, pp. 85-110.

Burton, I., 1994. Decontructing Adaptation ... and Reconstructing. in *Delta,* 5(1).

Burton, I., 1993. Climate Change and World Food Security. Paper presented to the Conference on Climate Change and World Food Society, NATO Advanced Research Workshop and Oxford Environment conference. University of Oxford, July 11-16, 1993.

Burton, I., Kates, R.W., White G.F., 1993. The Environment as Hazard, Second edition, Guilford Press, New York.

Burton, I., 1992. Regions and Resilience: An Essay on Global Warming. *The Regions and Global Warming: Impacts and Response Strategies.* Schmandt, J., and Clarkson, J., eds. Oxford University Press, New York pp. 257-274.

Burton, I., Herbert, D., 1992. A Canadian Perspective on Climate Change. *Global Climate Change: Implications, Challenges and Mitigation Measures.* Majumdar, S.K., Kalkstein, L.S.. Yarnel, B., Miller, E.W., and Rosenfeld, L.M., eds. Pennsylvania Academy of Science, Easton Pennsylvania. pp. 529-528.

Callaway, J.M., Ness, L.O., and Ringius, L., 1997. Adaptation Costs: A Framework and Methods, *Mitigation and Adaptation Cost Assessment: Concepts, Methods and Appropriate Use.* Draft, Sathaye, J.A. and Christensen, J., eds.

Canadian Climate Program Board, 1998. Understanding and Adapting to Climate Change. September 1998, Draft.

Carter, T.P., Parry, M.L., Harasawa, H., and Nishioka, N., 1994. IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. University College London, London.

Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J., and Raneses, A., 1995. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. United States Department of Agriculture Economic Research Service, Washington.

De Freitas, C.R., 1989. The Hazard Potential of Drought for the Population of the Sahel, *Population and Disaster*, Clarke, J.I., Curson, P, Kaysatha, S.L., and Nag, P., eds., Basil Blackwell, Oxford.

De Vries, J., 1985. Analysis of Historical Climate-society Interaction. *Climate Impact Assessment*, Kates, R.W., Ausubel, J.H., and Berberian, M., eds., John Wiley and Sons, New York, pp. 273-291.

Denevan, W., 1983. Adaptation, Variation and Cultural Geography, *Professional Geographer* 35, 406-412.

Downing, R.E., Olsthoorn, A.A., and Tol, R.S.J., 1996. *Climate Change and Extreme Events: Altered Risks, Socio-Economic Impacts and Policy Responses*, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Easterling, W.E., 1996. Adapting North American Agriculture to Climate Change in Review, *Agricultural and Forest Meteorology* 80(1), 1-54.

Easterling, W.E., Crosson, P.R., Rosenberg, N.J., McKenney, M.S., Katz, L.A., and Lemon, K.M., 1993. Agricultural Impacts of and Responses to Climate Change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas Region, *Climatic Change* 24(1-2), 23-62.

Fankhauser, S., 1997. *The Costs of Adapting to Climate*, Working Paper No 13, Global Environmental Facility, Washington.

Fankhauser, S., 1995. The Potential Costs of Climate Change Adaptation, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*, Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds., Springer, New York, pp. 80-96.

Frederick, K.D., 1997. Adapting to Climate Impacts on the Supply and Demand for Water, *Climatic Change* 37, 141-156.

Glantz, M., ed. 1988. *Societal Responses to Climate Change: Forecasting by Analogy*, Westview Press, Boulder.

Goklany, I.M., 1995. Strategies to Enhance Adaptability: Technological Change, Sustainable Growth and Free Trade, *Climatic Change* 30, 427-449.

Hastenrath, S., 1995. Recent Advances in Tropical Climate Prediction. *Journal of Climate*, 8, 1519-1531.

Hewitt, K., 1997. *Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters*, Addison Wesley Longman, Harlow Essex.

Hewitt, K., and Burton, I., 1971. *The Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events*, University of Toronto, Toronto.

Hulme, M., Raper, S.C.B., and Wigley, T.M.L., 1995. An Integrated Framework to Address Climate Change (ESCAPE) and Further Developments of the Global and Regional Climate Modules (MAGICC), *Energy Policy* 23(4/5), 347-355.

Hurd, B., Callaway, J., Kirshen, P., and Smith, J., 1997. Economic Effects of Climate Change on U.S. Water Resources, *The Impacts of Climate Change on the U.S. Economy*, Mendelsohn, R., and Newmann, J., eds. Cambridge University Press, Cambridge.

IDNDR Secretariat, 1994. Disasters around the world - a global and regional view: Paper #4, World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, Japan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1998. *Report of the Expert Meeting on Risk Management Methods*, Toronto, Canada.

Jepma, C.J., Asaduzzaman, M., Mintzer, I., Maya, R.S., and Al-Monef, M., 1996. A Generic Assessment of Response Options, *Climate change. 1995: Economic and social dimensions of climate change*. Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Bruce, J.P., Lee, H., and Haites, E., eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 225-262.

Kane, S., Reilly, J., and Tobey, J., 1992. A Sensitivity Analysis of the Implications of Climate Change for World Agriculture, *Economic Issues in Global Climate Change*, Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 117-131.

Kates, R.W., 1985. The Interaction of Climate and Society, *Climate Impact Assessment*, Kates, R.W., Ausubel, J.H., and Berberian, M., eds. John Wiley and Sons, New York, pp. 3-36.

Klein, R.J.T., and Nicholls, R.J., 1998. Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change, forthcoming in *Ambio*.

Klein, R.J.T., and Tol, R.S.J., 1997. *Adaptation to Climate Change: Options and Technologies*, Institute of Environmental Sciences, Vrije Univeristeit, Amsterdam.

Koshida, G., Burton, I., Cohen, S.J., Cuthbert, D., Mayer, N., Mills, B., Mortsch, L., Slivitzky M., and Smith, J., 1997. Climate Change: Practising Adaptative Management for Sustainability of Canadian Water Resources, *Practicing Sustainable Water Managment: Canadian and International Experiences*. Shrubsole, D., and Mitchell, B., eds. Canadian Water Resources Association, Cambridge, pp. 75-98.

Krankina, O.N., Dixon, R.K., Kirilenko, A.P., and Kobak, K.I., 1997. Global Climate Change Adaptations: Examples from Russian Boreal Forests, *Climatic Change* 36, 197-215.

Lagos, P., and Bulzer, J., 1992. El Niño and Peru: A Nation's Response to Interannual Climate Variability, *Natural and Technological Disasters: Causes, Effects and Preventive Measures*. Majumdar, S.K., Fothes, G.S., Millet, E.W., and Schmalz, R.F., eds. The Pennsylvania Academy of Science.

Lawrence, E., 1995. *Henderson's Dictionary of Biological Terms*. Longman Scientific and Technical, Harlow.

Leemans, R., 1992. Modeling Ecological and Agricultural Impacts of Global Changes on a Global Scale. *Journal of Science and Industrial Research*, 51, 709-724.

Lewandrewski, J., and Brazee, 1992. Government Farm Programs and Climate Change: A First Look, *Economic Issues in Global Climate Change*. Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 132-147.

MacDonald, G.M., Edwards, T.W.D., Moser, K.A., Pienitz, R., and Smol, J.P., 1993. Rapid Response of Treeline Vegetation and Lakes to Past Climate Warming, *Nature* 361, 243-246.

Magalhaes, A.R., 1996. Adapting to Climate Variations in Developing Regions: A Planning Framework, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York pp. 44-54.

Markham, A., and Malcolm, J.: 1996, 'Biodiversity and Wildlife, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York pp. 384-401.

Munich Re, 1997. *Topics: Annual review of natural catastrophes*. Munich Re, Munich.

Munich Re, 1995, *Topics Annual review of natural catastrophes*. Munich Re, Munich.

Olsthoorn, A.A., Maunder, W.J., and Tol, R.S.J., 1996. Tropical Cyclones in the Southwest Pacific: Impacts on Pacific Island Countries with Particular Reference to Fiji, *Climate Change and Extreme Events: Altered Risks, Socio-Economic Impacts and Policy Responses*. Downing, T.E., Olsthoorn, A.A., and Tol, R.S.J., eds., Institute for Environmental Management, Vrije Universiteit, Amsterdam, pp. 185-208.

Perry, M.L., 1986. Some Implications of Climate Change for Human Development, *Sustainable Development of the Biosphere*, Clark, W.C., and Munn, R.E., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 378-407.

Peters, R.L., and Lovejoy, T.E., eds., 1992. *Global Warming and Biological Diversity*. Yale University Press, New Haven, Connecticut.

Riebsame, W.E., 1991. Sustainability of the Great Plains in an Uncertain Climate, *Great Plains Research* 1(1), 133-151.

Rivers, R., Mortsch, L., Burton, I., 1997. The Economics of Climate Change: The Economics of a Water Adaptation Strategy. Paper presented to the Annual Conference of the Canadian Society for Ecological Economics, Hamilton 1997.

Rose, C., and Hurst, P., 1991. *Can Nature Survive Global Warming*. World Wildlife Fund International, Gland, Switzerland.

Rosenweig, C., and Parry, M.L., 1994. Potential Impact of Climate Change on World Food Supply, *Nature* 367, 133-138.

Rothman, D.S., Demeritt, D., Chiotti, Q., Burton, I., 1998. Costing Climate Change: The Economics of Adaptations and Residual Impacts for Canada. *Canada Country Study climate impacts and adaptation. Volume VIII: National Cross-Cutting Issues*, Mayer, N., and Avis, W., eds. University of Toronto Press, Toronto, pp. 1-30.

Russell, D., 1997. ***Keeping Canada Competitive: Comparing Canada's Climate Change Performance to Other Countries***, Vancouver, David Suzuki Foundation.

Russell, D. and Toner, G., 1998. *Science and Policy when the Heat is Rising: The Case of Global Climate Change Negotiations and Domestic Implementation*. A Paper for the CRUISE Conference on Science, Government and Global Markets, Ottawa.

Smit, B., ed. 1993. *Adaptation to Climate Variability and Change*. University of Guelph Occasional Report No. 21, Guelph, 51 pp.

Smit, B., Burton, I., and Klein, R.J.T. (forthcoming). The Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability, a paper prepared for a Special Issue of *Climatic Change on Societal Adaptation to Climatic Variability and Change*.

Smit, B., McNabb, D., and Smithers, J., 1996. Agricultural Adaptation to Climate Change. *Climatic Change* 33, 7-29.

Smit, B., Blain, R., and Keddie, P., 1997. Corn Hybrid Selection and Climatic Variability: Gambling with Nature?, *The Canadian Geographer* 41(4), 429-438.

Smith, J., Ragland, S.E., Racher, R.S., Burton, I., 1997. Assessment of Adaptation to Climate Change: Benefit-Cost Analysis. Paper prepared for the Global Environment Faculty, Washington, D.C.

Smith, J.B., Ragland, S.E., and Pitts, G.J., 1996. A Process for Evaluating Anticipatory Adaptation Measures for Climate Change, *Water, Air, and Soil Pollution* 92, 229-238.

Smith, J.B., 1996. Using a Decision Matrix to Assess Climate Change Adaptation, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York, pp. 68-79.

Smith, K., 1996. *Environmental Hazards: Assessing risk and reducing disaster*, Routledge, London.

Smith, J., and Lenhart, S.S., 1996. Climate Change Adaptation Policy Options, *Climate Research* 6, 193-201.

Smithers, J., and Smit, B., 1997a. Human Adaptation to Climatic Variability and Change, *Global Environmental Change* 7(2), 129-146.

Smithers, J., and Smit, B., 1997b. Agricultural System Response to Environmental Stress, *Agricultural Restructuring and Sustainability*, Ilberry, B., Chiotti, Q., and Rickard, T., eds. CAB International, Wallingford, pp. 167-183.

Sonka, S.T., and Lamb, P.J., 1987. On Climate Change and Economic Analysis, *Climatic Change* 11(3), 291-313.

Sonka, S.T., 1992. Evaluating Socioeconomic Assessments of the Effect of Climatic Change on Agriculture, *Economic Issues in Global Climate Change*, Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 402-413.

Sprengers, S.A., Slager, L.K., and Aiking, H., 1994. *Biodiveristy and Climate Change part 1: Establishment of Ecological Goals for the Climate Convention*, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Stakhiv, E.Z., 1996. Managing Water Resources for Climate Change Adaptation' *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York, pp. 243-264.

Stakhiv, E., 1993. *Evaluation of IPCC Adaptation Strategies*, Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, VA, draft report.

Swiss Re, 1996. Natural catastrophes and major losses in 1995, Sigma, No 2, (Also No. 3/1995) Zurich.

Titus, J.G., 1990. Strategies for Adapting to the Greenhouse Effect, *Journal of the American Planning Association* 56(3), 311-323.

Tol, R.S.J., Fankhauser, S., and Smith, J.B., 1997. *The Scope for Adaptation to Climate Change: What Can We Learn From the Literature?* Institute for Environmental Studies, Vrije universiteit, Amsterdam.

Tol, R.S.J., 1996. A Systems View of Weather Disasters, *Climate Change and Extreme Events: Altered Risks, Socio-Economic Impacts and Policy Responses*, Downing, T.E., Olsthoorn, A.A., and Tol, R.S.J., eds., Institute for Environmental Management, Vrije Universiteit, Amsterdam, pp. 17-33.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1996. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change, Text* UNEP/WMO, Geneva.

US Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1996. *National Mitigation Strategy*.

Viscusi, W.K., 1992. Implications of Global-change Uncertainties: Agricultural and Natural Resource Policies, *Economic Issues in Global Climate Change*, Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 414-424.

Warrick, R.A., Gifford, R.M., and Parry, M.L., 1986. CO_2, Climate Change and Agriculture. *The Greenhouse Effect, Climate Change, and Ecosystems*, Bolin, B., Döös, B.R., Jäger, J., and Warrick, R.A., eds. New York, John Wiley and Sons, pp. 393-473.

Wigley, T.M., 1985. Impact of Extreme Events, *Nature* 316, 106-107.

Part 3: Handout Material

Burn, D. H., 1998. *Experience from the Red River Flood of 1997.*, University of Waterloo. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Jones, B. and Andrey, J., 1998. *Weather Warnings and Adaptive Responses: Perceptions of Kingston, Ontario Residents*, University of Waterloo. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Koshida, G., Mills B., and Sanderson, M., 1998. *Adaptation Lessons Learned (and Forgotten) from the 1988 and 1998 Southern Ontario Droughts*, Environment Canada, Environmental Adaptation Research Group. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Lange, O., 1998. *Adaptation Lessons from the Storm of '96: Adaptation to Infrequent Snowstorms in the Lower B.C. Mainland and the Victoria Area*, Environment Canada, Victoria Weather Office. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Singh, B., 1998. *Adaptation to Climate Change and Variability in Agriculture*, Quebec, University of Montreal, Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

SAFE GUARD is a national information program based on partnerships and aimed at increasing public awareness of emergency preparedness in Canada.

The Safe Guard program brings together government, private and voluntary organizations that are part of the emergency planning, response and recovery community.

The triangle is the international symbol of emergency preparedness. The jagged line evokes the maple leaf, the internationally recognized symbol of Canada. The amber yellow colour is a sign of caution and warning.

Protection civile Canada
Emergency Preparedness Canada

Mesures d'atténuation des catastrophes et protection civile dans un monde au climat changeant

un document de synthèse

Ce document est disponible sur l'Internet à :
www.epc-pcc.gc.ca

SAUVEGARDE

MESURES D'ATTÉNUATION DES CATASTROPHES ET PROTECTION CIVILE DANS UN MONDE AU CLIMAT CHANGEANT

Document de synthèse rédigé pour

Protection civile Canada,
Environnement Canada et le Bureau d'assurance du Canada

par

James P. Bruce,
Ian Burton et
I.D. Mark Egener

GCSI – GLOBAL CHANGE STRATEGIES INTERNATIONAL INC.

MITIGATION AND PREPAREDNESS IN A CHANGING CLIMATE

Données de catalogage avant publication (Canada)

Bruce, James P.

Mesures d'atténuation des catastrophes et protection civile dans un monde au climat changeant [fichier d'ordinateur] : document de synthèse

Publ. aussi en anglais sous le titre : Disaster mitigation and preparedness in a changing climate.
Comprend des références bibliographiques.
Mode d'accès : Site WWW de Protection civile Canada.

1. Gestion des situations d'urgence -- Canada -- Planification.
2. Catastrophes naturelles -- Canada.
3. Climat -- Changements -- Canada.
4. Gestion des situations d'urgence -- Planification.
I. Burton, Ian, 1955-
II. Egener, I.D. Mark.
III. Protection civile Canada.
IV. Canada. Environnement Canada.
V. Bureau d'assurance du Canada.
VI. Titre.

HV551.5C3B78 1999 363.34'0971 C99-980109-0

MESURES D'ATTÉNUATION DES CATASTROPHES ET PROTECTION CIVILE DANS UN MONDE AU CLIMAT CHANGEANT

I. Introduction

Ce document de synthèse présente un aperçu général des questions que soulèvent le changement climatique et les phénomènes météorologiques violents, ainsi qu'une description des conclusions scientifiques les plus récentes à ce sujet. Le document fournit des renseignements sur les liens qui existent entre le changement climatique et la fréquence et la violence des phénomènes météorologiques exceptionnels, en particulier dans les latitudes septentrionales. On y expose les politiques, les moyens et les mécanismes qui réduiront les incidences négatives des événements météorologiques extrêmes et des catastrophes naturelles qui en découlent pour la population et l'infrastructure, en mettant particulièrement l'accent sur la situation canadienne. Enfin, on y examine le besoin de poursuivre sans relâche nos efforts dans les domaines scientifique et technique ainsi que sur les plans politique et administratif afin de réduire au minimum les conséquences du changement climatique.

II. Résumé des connaissances scientifiques sur le changement climatique

La plupart des scientifiques s'accordent pour dire que les activités économiques humaines exercent une influence discernable et croissante sur le climat, entraînant par là-même un certain nombre de conséquences positives et négatives pour les citoyens et les écosystèmes du monde.

La vie sur terre est rendue possible par un effet de serre naturel : l'atmosphère terrestre piège le rayonnement émanant de la terre, causant ainsi une élévation de quelque 33°C de la température globale à la surface terrestre (c.-à-d. que la température terrestre moyenne, qui est actuellement de +15°C, serait de –18°C si ce n'était de « l'effet de serre »). Les gaz qui contribuent à cet effet s'appellent gaz à effet de serre; ce sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2), le méthane, l'oxyde d'azote, les chlorofluorocarbures (CFC) et l'ozone. Le plus abondant de ces gaz produits par l'activité humaine est le gaz carbonique, ou CO_2, qui provient surtout de la combustion des combustibles fossiles.

Les scientifiques ont constaté que plusieurs millénaires avant l'ère de l'industrialisation, vers 1750, la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère s'était maintenue à environ 280 parties par million en volume, ou milligrammes par litre (mg/l). Depuis la révolution industrielle, on brûle de plus en plus de combustibles fossiles pour produire

l'énergie nécessaire à la croissance économique, et la concentration de CO_2 a augmenté d'environ 30 p. 100[1] pour atteindre le niveau actuel de 360 mg/l. Des projections réalisées par ordinateur montrent que si le monde continue d'évoluer dans le même sens qu'actuellement, d'ici l'an 2100, la concentration de gaz carbonique pourrait atteindre 700 mg/l. Il pourrait en résulter une hausse de 4°C de la température terrestre moyenne. Cet écart ne semble peut-être pas énorme, mais il faut se rappeler que pendant la dernière glaciation, la température moyenne était de seulement 6°C inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui. Les scientifiques prédisent que le réchauffement ne sera pas réparti également et que les régions polaires et les zones tempérées intérieures, comme les Prairies canadiennes, connaîtront des températures encore plus élevées et, dans certaines régions, des précipitations moindres.

Le réchauffement fera fondre graduellement la calotte glaciaire des pôles. L'eau de fonte, ajoutée à l'expansion des océans causée par l'élévation de la température de l'eau, pourrait faire rehausser le niveau de la mer, ce qui menacerait les régions côtières et les petits pays insulaires. De plus, la plus grande quantité d'énergie thermodynamique présente dans le système planétaire causera probablement de plus fréquents phénomènes météorologiques exceptionnels qui menaceront la sécurité des personnes et endommageront les biens. On peut soutenir sans trop se tromper que le changement climatique est le problème environnemental le plus généralisé et le plus menaçant auquel la communauté internationale ait jamais été confrontée.

En 1988, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Ce groupe réunissait un vaste éventail de spécialistes des secteurs public et privé qui ont été chargés de compiler et d'évaluer les plus récentes connaissances scientifiques et de déterminer ce que l'on sait et ce que l'on ignore au sujet du système climatique et du changement climatique. Quelque 2 000 scientifiques ont contribué à la rédaction du dernier rapport, le *Deuxième rapport d'évaluation de 1995*, qui conclut que « d'après la prépondérance de la preuve, l'activité humaine exerce une influence discernable sur le climat de la planète ».[2]

III. Le protocole de Kyoto – Retarder le changement climatique

Avec l'intensification des efforts de recherche scientifique et l'acceptation généralisée de la conclusion selon laquelle le changement climatique est l'aboutissement inévitable de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, un certain nombre d'importantes

---

[1] Si l'on exprime en équivalent CO_2 les autres gaz à effet de serre produits par l'homme, l'augmentation causée par l'activité humaine est d'environ 50 p. 100.

[2] Paraphrase tirée de l'ouvrage de Russell, Doug et Toner, Glen, *Science and Policy when the Heat is Rising: The Case of Global Climate Change Negotiations and Domestic Implementation*, document rédigé pour la Conférence CRUISE sur les sciences, l'administration gouvernementale et les marchés mondiaux, Ottawa, octobre 1995.

conférences intergouvernementales internationales ont eu lieu entre le milieu des années 1980 et le début des années 1990. Le tableau I établit la chronologie des principaux événements et en donne un résumé.

TABLEAU 1 : Le cheminement vers Kyoto[3]
Calendrier des travaux de recherche scientifique et des conférences qui ont abouti au protocole de Kyoto

1896	Svante Arrhenius, chimiste suédois, prédit que les émissions de gaz carbonique provenant de la combustion du charbon provoqueront le réchauffement de la planète.
1957	Revelle et Seuss, scientifiques à l'Institut océanographique Scripps des États-Unis, soutiennent qu'une grande partie du gaz carbonique émis dans l'atmosphère par les activités industrielles n'est pas absorbé par les océans, contrairement à ce que certains chercheurs avaient laissé entendre. Ils décrivent l'accumulation de gaz carbonique dans l'atmosphère comme « une expérience géophysique de grande envergure » mettant en cause le climat terrestre.
1958	Keeling, scientifique à l'Institut Scripps, effectue les premières mesures fiables et continues de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère à l'Observatoire Mauna Loa, à Hawaï.
1972	Stockholm : première Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain où le changement climatique provoqué par l'homme est reconnu comme une question urgente. Création du Programme des Nations Unies pour l'environnement.
1979	Genève : première Conférence mondiale sur le climat : lancement du Programme climatologique mondial visant à coordonner la recherche mondiale sur le climat et le changement climatique et à recueillir des données météorologiques.
1985	M. Joe Farmer, du Programme britannique de recherche sur l'Antarctique, découvre un trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique. Ces mesures terrestres sont par la suite confirmées par des images obtenues par satellite.
1985	Conférence de Villach (Autriche) : lancement d'un avertissement : « Beaucoup de décisions économiques importantes sont fondées sur l'hypothèse que l'on peut prédire de façon fiable le climat futur en se fondant sur le climat passé. Cette hypothèse n'est plus valable. »
1987	Signature par 24 pays du Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Les parties se mettent d'accord pour bloquer la consommation de CFC et de halons au niveau de 1986 et pour réduire la consommation de ces substances de 50 p. 100 en 1997 au plus tard.
1988	Création du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), composé des plus éminents scientifiques mondiaux spécialisés dans la recherche climatologique. Ce groupe est établi par le Programme des Nations Unies pour l'environnement et par l'Organisation météorologique mondiale et est chargé d'évaluer la recherche scientifique sur le changement climatique et l'incidence qu'il pourrait avoir sur l'environnement.
1988	Toronto : Les participants à la Conférence mondiale sur l'atmosphère en évolution réclament une

[3] D'après l'ouvrage de Russell et Toner.

	réduction de 20 p. 100 des émissions de gaz carbonique.
1990	Genève : Lors de la Deuxième conférence mondiale sur le climat, plus de 500 scientifiques et dirigeants du monde adoptent le premier rapport d'évaluation du GIEC et lancent un appel pour la conclusion d'une entente internationale visant à lutter contre le réchauffement planétaire.
1992	Rio de Janeiro : La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) se solde par la signature par 154 pays de la convention-cadre sur le changement climatique; les signataires s'engagent à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre au niveau de 1990 d'ici l'an 2000.
1995	Le GIEC, exprimant le consensus des climatologistes mondiaux, conclut que « ...la prépondérance de la preuve indique que l'activité humaine exerce une influence discernable sur le climat de la planète ». Il conclut également que les avantages nets de la réduction des émissions de gaz à effet de serre l'emportent sur les coûts dans beaucoup de pays, tout au moins au tout début.
1997	L'année la plus chaude enregistrée depuis que les scientifiques ont commencé à consigner des données météorologiques précises en 1860. Les deux autres années les plus chaudes se situent également dans la même décennie : 1995 et 1990.
1997	Kyoto (Japon) : 159 pays négocient un traité établissant des objectifs exécutoires pour les pays industrialisés qui s'engagent à réduire leurs émissions de six gaz à effet de serre de 5 p. 100, en moyenne, par rapport au niveau de 1990.
1998	D'après les premières mesures, 1998 est l'année la plus chaude jamais enregistrée au Canada.

Adapté de IIDD, *A Guide to Kyoto: Climate Change and What it Means to Canadians*: 19-20.

Hormis le scepticisme affiché par un petit nombre de scientifiques, surtout américains, l'influence de l'activité humaine sur le climat recueille un consensus auprès des scientifiques. La troisième Conférence des parties[4], tenue à Kyoto en décembre 1997, se solde par l'engagement pris par les parties de réduire les concentrations de gaz à effet de serre en deçà des niveaux de 1990, dans le but de ralentir le changement climatique.

Toutefois, même compte tenu des réductions des émissions de gaz à effet de serre décidées à Kyoto, on continuera d'observer des changements climatiques auxquels les Canadiens devront s'adapter. Dans le cas du Canada, étant donné que notre pays est situé à une latitude très septentrionale, l'impact de ces changements pourrait être particulièrement sérieux. Les autorités canadiennes ont créé le Processus national d'évaluation des données scientifiques en mettant sur pied le Bureau du programme climatologique du Canada. Le Bureau a publié des rapports faisant le point sur les données scientifiques, les répercussions du changement climatique au Canada, et les

[4] Au « Sommet de la Terre » de Rio de Janeiro, en 1992, 154 États plus la Communauté européenne ont signé la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique. La « Conférence des parties » comprend les États qui ont ratifié la convention (175 en date de juillet 1998) et préside à l'application de la convention.

options en matière d'intervention pour l'atténuation et l'adaptation. Les quatre ministères fédéraux qui s'occupent de ressources naturelles (Environnement, Ressources naturelles, Agriculture et Agroalimentaire et Pêches et Océans) ont convenu de travailler à des projets conjoints et de mettre en place un cadre pour que les sciences et la technologie dans le secteur des ressources naturelles soient axées sur le développement durable.[5]

En résumé, il ressort des travaux scientifiques menés à ce jour que la température moyenne du Canada a augmenté d'environ 1°C depuis 1895 et que la fréquence des tempêtes hivernales s'est sensiblement intensifiée tout au long du XX^{e} siècle. En 1995, environ 89 p. 100 des émissions totales de gaz à effet de serre au Canada étaient attribuables au transport et à la production et à la combustion de combustibles fossiles. Au Canada, 1998 s'annonce comme l'année la plus chaude jamais enregistrée : la température nationale moyenne pour les six premiers mois était de 2,7°C au-dessus de la moyenne et dans certaines régions des Territoires du Nord-Ouest, on a enregistré des températures de plus de 5°C au-dessus de la moyenne normale. On prévoit que le Canada, en raison de son immensité et du fait qu'il est situé à des latitudes élevées, connaîtra des changements climatiques plus marqués que la plupart des autres régions du monde. Le Canada, pays côtier et nordique, et producteur de ressources renouvelables dans les secteurs des forêts, de l'agriculture et des pêches, est plus vulnérable que la plupart des autres pays aux dommages causés par le changement climatique.

Dans le Protocole de Kyoto, le Canada a convenu de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 6 p. 100, par rapport au niveau de 1990, entre 2008 et 2012. Dans son deuxième rapport de 1998, le commissaire à l'environnement et au développement durable a procédé à une vérification des efforts fédéraux de mise en oeuvre des principaux accords internationaux relatifs à l'environnement pour la période située entre les réunions de Rio de Janeiro (1992) et de Kyoto (1997). Cette vérification a fait ressortir un effort de mise en oeuvre insuffisant, caractérisé par un manque de coordination entre les ministères fédéraux, par l'absence de collaboration fédérale-provinciale et par une structure générale de gestion marquée par une reddition de comptes insuffisante. À l'occasion d'une réunion qui a eu lieu immédiatement après Kyoto, les dirigeants fédéraux, provinciaux et territoriaux ont convenu d'intensifier l'effort de mise en oeuvre.

Pour y parvenir, le gouvernement fédéral a précisé les rôles respectifs d'Environnement Canada et de Ressources naturelles Canada, a fondé un Secrétariat fédéral du changement

[5] Environnement Canada (EC) élabore les modèles de circulation générale planétaires et régionaux au Canada et effectue des travaux de recherche sur le changement climatique, y compris sur les répercussions du changement climatique et l'adaptation. Il a également dirigé les travaux qui ont débouché sur l'Étude nationale du Canada, première évaluation nationale des répercussions du changement climatique et de l'adaptation nécessaire. Ressources naturelles Canada (RNCan) dirige les travaux de recherche du gouvernement fédéral sur l'efficacité énergétique, les combustibles de remplacement, l'énergie renouvelable et le rôle des forêts dans le changement climatique. De plus, le Programme interministériel de recherche et d'exploitation énergétiques (PRDE) aide à coordonner les programmes de recherche et de développement de 12 ministères dans le domaine énergétique. Depuis avril 1996, le PRDE a accru l'aide qu'il apporte à la recherche en matière d'efficience énergétique et de changement climatique.

climatique et a créé le Fonds d'action pour le changement climatique (FACC), doté de 150 millions de dollars sur trois ans, qui permettra au Canada de respecter ses engagements pris aux termes du Protocole de Kyoto. Grâce à ce fonds, le Canada pourra prendre des mesures concrètes et immédiates afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, jeter les bases qui lui permettront de respecter ses engagements aux termes du Protocole de Kyoto, et d'inciter les Canadiens à s'engager à contribuer à la solution du problème. Le secrétariat chapeautera une initiative de consultation auprès de tous les intervenants afin d'examiner les répercussions, les coûts et les avantages du Protocole de Kyoto, y compris des mesures d'adaptation, et de déterminer les mesures à prendre, dans l'immédiat et à long terme, pour réaliser des réductions durables des émissions de gaz à effet de serre. L'objectif est de formuler, avant la fin de 1999, une stratégie nationale de mise en oeuvre « par étapes » et, espérons-le, un plan permettant de désigner les organismes responsables de l'atteinte des objectifs nationaux du Canada."

Dans les forums interprovinciaux et industriels, le gouvernement fédéral s'est engagé à ne rien faire qui soit de nature à compromettre la position concurrentielle du Canada sur l'échiquier mondial et a convenu que la stratégie de réduction du gaz carbonique qui serait définie pour respecter nos engagements pris dans le cadre du Protocole de Kyoto ne devait pas avoir une incidence négative disproportionnée sur une région quelconque. Certaines provinces ont déclaré qu'elles ne se lanceront pas dans une campagne de réduction des émissions tant que les États-Unis n'auront pas ratifié le Protocole de Kyoto.[7] Certains intervenants du secteur des combustibles fossiles, en particulier certaines grandes sociétés pétrolières et de charbonnage et des fabricants d'automobiles, ont pris la tête du mouvement contre les travaux scientifiques et les programmes sur le changement climatique. Il faut dire que les grands consommateurs industriels de combustibles fossiles dans les secteurs de la pétrochimie et de la production d'électricité, de même que dans le secteur des transports, seront probablement assez lourdement touchés. C'est pourquoi certaines associations industrielles comme le Conseil canadien des chefs d'entreprise se sont également montrées critiques, dans leurs prises de position, à l'égard des travaux scientifiques et des moyens d'action proposés. Il convient de noter que le Conseil international des entreprises pour le développement durable et certaines grandes compagnies du secteur de l'énergie comme British Petroleum et Shell ont fait savoir qu'ils participeront aux efforts en vue de réduire les émissions.

Si certains membres du complexe industriel des combustibles fossiles et de l'énergie exercent des pressions dans un sens sur le gouvernement fédéral, d'autres secteurs, notamment les compagnies d'assurance, qui subissent de lourdes pertes attribuables aux

---

[6] D'après Russell, Doug et Toner, Glen, *Science and Policy when the Heat is Rising: The Case of Global Climate Change Negotiations and Domestic Implementation*, document publié pour la Conférence CRUISE sur les sciences, le gouvernement et les marchés mondiaux, Ottawa, octobre 1998, et des communiqués de presse du gouvernement du Canada, *Le gouvernement fédéral prend des mesures concrètes sur le changement climatique* et *Document d'information sur le Fonds d'action pour le changement climatique*, n° 98-61, 19 octobre 1998.

[7] Le 12 novembre 1998, les États-Unis ont annoncé qu'ils ratifieraient le Protocole de Kyoto.

phénomènes météorologiques exceptionnels, exercent des pressions dans le sens contraire. D'autres secteurs en font autant : ceux qui ont tout à gagner d'une stratégie de l'efficacité énergétique et des combustibles de remplacement, et ceux qui commencent à prendre conscience de leur propre vulnérabilité à l'égard des écarts climatiques extrêmes que nous connaissons actuellement. De plus, l'opinion publique bouge lentement, à mesure que le grand public commence à mieux en comprendre la problématique et les enjeux.[8] C'est dans cet environnement difficile où divers intervenants nationaux et internationaux défendent des positions contraires qu'il faut prendre des décisions vitales et formuler des stratégies permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre au niveau fixé dans le Protocole de Kyoto.

En même temps, il faut trouver des moyens et des mécanismes pour s'adapter aux résultats de l'inévitable changement climatique, puisque les engagements pris à Kyoto ne feront que retarder ce changement d'une décennie environ. Un élément essentiel doit sous-tendre toute stratégie d'adaptation au changement climatique : l'élaboration et la mise en oeuvre d'une stratégie nationale de prévention et d'atténuation des phénomènes météorologiques exceptionnels et des catastrophes naturelles qui s'ensuivent, et de protection civile pour y faire face.

IV. Ce que nous savons, ce que nous pouvons prédire et ce que nous soupçonnons au sujet des phénomènes météorologiques exceptionnels dans un monde plus chaud

L'élévation de la température moyenne du globe observée depuis un siècle, qui est d'environ 0.5°C, et les tendances régionales et verticales de changement de température sont conformes au changement prédit par les modèles de circulation générale sur lesquels on s'est fondé pour évaluer l'effet probable des augmentations observées à ce jour des émissions de gaz à effet de serre et d'aérosol. Cette observation s'applique également aux changements observés pour ce qui est des phénomènes météorologiques extrêmes.

Comment le changement climatique influera-t-il sur la fréquence et la sévérité des phénomènes météorologiques extrêmes? Premièrement, on croit que la chaleur supplémentaire changera la répartition de la chaleur et donc les flux d'énergie dans le système climatique. Il en résultera une modification des modèles de circulation de l'atmosphère et des océans; ce changement modifiera aussi le cycle hydrologique par lequel l'eau circule entre la surface de la terre et l'atmosphère. Cela pourrait modifier considérablement les grands courants de tempête de la planète.

---

[8] Dans un sondage Environics réalisé en 1998, « on a demandé aux répondants s'il y avait lieu de prendre des mesures énergiques dans le dossier du changement climatique, même si l'incertitude subsistait sur le plan scientifique et si de telles mesures pouvaient entraîner des coûts importants ». Au Canada, une forte majorité (67 p. 100) des personnes interrogées ont dit que le gouvernement devait s'attendre au pire et qu'il devait prendre immédiatement des mesures pour enrayer le problème. L'année dernière, 61 p. 100 des répondants avaient dit qu'il fallait prendre des mesures en ce sens.

Deuxièmement, un climat plus chaud devrait influer sur les processus physiques qui sont à l'origine de divers phénomènes météorologiques exceptionnels. Une élévation de la température du globe devrait presque certainement se solder par une augmentation généralisée de la quantité d'eau qui circule par le cycle hydrologique. En conséquence, l'atmosphère sera chargée d'une plus grande quantité d'humidité qui pourra former des précipitations, sous forme de pluie ou de neige. Les modèles de circulation générale montrent qu'une atmosphère plus chaude augmentera la quantité d'humidité transportée dans les latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère nord. Ces modèles semblent également montrer que ces précipitations additionnelles prendront probablement la forme d'averses plus violentes, au lieu d'augmenter le nombre de jours de chutes de pluie ou de neige.

Comme on le verra ci-dessous dans la présente partie, le nombre de décès et de blessures, et le montant des pertes assurées et économiques attribuables aux catastrophes naturelles augmentent très rapidement. On a observé depuis quelques dizaines d'années des tendances régionales en matière d'écarts climatiques extrêmes qui pourraient expliquer en partie cette augmentation rapide des pertes causées par les catastrophes.[9]

Événements qui accompagnent les phénomènes météorologiques extrêmes :

Intensité pluviale : Parmi les tendances observées à l'échelle régionale et solidement confirmées par des données à long terme fiables, on constate une plus grande fréquence des très fortes pluies aux États-Unis, au Japon et dans le nord de l'Australie, ainsi que sur la côte nord-ouest de l'Inde.[10] Toutefois, on n'a décelé aucune tendance semblable au cours de périodes plus courtes allant jusqu'en 1989 en Chine ou en Union soviétique. Les orages violents, qui peuvent être accompagnés de fortes pluies ou de grêle, ainsi que les tornades, demeurent un problème particulièrement épineux pour les modèles de circulation générale, parce que ces phénomènes sont fortement localisés. Il semble probable que les orages violents seront plus nombreux et plus intenses dans la plupart des régions si le climat se réchauffe.

---

[9] Un certain nombre des changements observés en matière d'extrêmes climatiques sont cités par le GIEC (1995), particulièrement dans le volume 1 – Les aspects scientifiques du changement climatique, chapitre 3. Toutefois, le GIEC conclut prudemment que « ...nous ne possédons pas suffisamment de données pour établir si des changements uniformes à l'échelle planétaire se sont produits au cours du XX[e] siècle en matière d'écarts climatiques ou de phénomènes météorologiques extrêmes ».

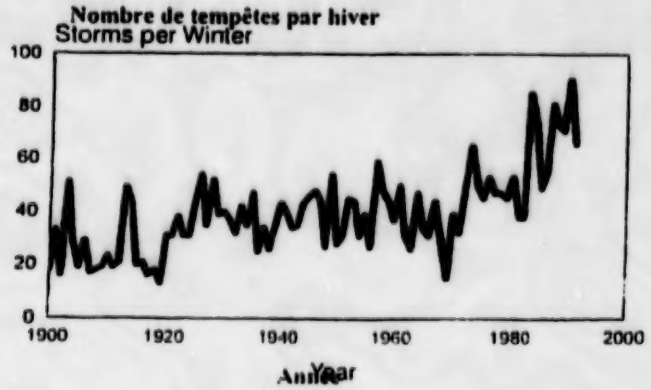
[10] Par exemple, Tom Karl de la National Oceanographic and Atmospheric Administration des États-Unis, et ses collègues rapportent dans *Nature* (1995) une forte augmentation (20 p. 100) de la proportion de pluie qui tombe les jours de pluie intense l'été (>50.8 mm) aux États-Unis durant la période allant de 1911 à 1992. Cela se reflète également dans les statistiques annuelles. Dans une communication plus récente, les mêmes auteurs ont montré que la proportion du territoire des États-Unis qui a reçu des précipitations beaucoup plus fortes que la moyenne normale sous forme de pluie très intense (>50.8 mm) n'a cessé d'augmenter tout au long de ce siècle. Ils calculent que ce phénomène a moins d'une chance sur 1 000 de se produire dans un climat quasi stationnaire et que c'est donc la manifestation du changement climatique.

Intensité des tempêtes : Il n'est pas du tout facile d'établir les changements intervenus dans la fréquence et l'intensité des tempêtes extra-tropicales dans les zones tempérées, parce qu'on peut utiliser un certain nombre de critères différents pour mesurer l'intensité (la pression atmosphérique au centre, la vélocité des vents les plus forts, l'intensité pluviale, etc.), chaque méthode posant des problèmes vu la difficulté d'obtenir des séries de données ou de cartes météo uniformes sur de longues périodes. Les éléments de preuve quant à l'évolution éventuelle du temps orageux dans un climat plus chaud sont contradictoires et il faut envisager avec prudence toute conclusion relative à la violence des tempêtes.

Des études empiriques citées par le GIEC semblent démontrer qu'il y a eu dernièrement une augmentation sensible du nombre de tempêtes dans l'Atlantique-Nord.[1]. On décèle également une forte hausse de l'intensité des tempêtes dans le Pacifique-Nord ces derniers temps, ainsi que des cyclones extra-tropicaux de plus grande taille et de plus forte intensité dans l'hémisphère nord. On signale également, ce qui est de nature à intéresser particulièrement les Canadiens, une forte augmentation, depuis 1970, du nombre de tempêtes hivernales très intenses dans l'hémisphère nord (voir la figure 1). Dans l'est de l'Amérique du Nord, sept des huit tempêtes les plus violentes des 50 dernières années se sont produites au cours des 25 dernières années.

[1] Par exemple, Bouws, E. Janninie, D. et Kouen, G J. (1996) ont constaté que depuis 1988-1989, les tempêtes violentes sont plus fréquentes en hiver dans l'Atlantique-Nord que durant toute autre période depuis 1880. Lambert (1996) a constaté une augmentation du nombre des cyclones hivernaux violents près de la dépression des Aléoutiennes et de la dépression islandaise après 1980.

Figure 1 : Fréquence des tempêtes hivernales intenses dans l'hémisphère nord[12]



D'après les données de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), la fréquence et l'intensité des cyclones tropicaux et des ouragans ne semblent toutefois pas avoir changé à l'échelle planétaire. Parallèlement, la fréquence des ouragans dans l'Atlantique-Nord a diminué pendant la période 1970-1987, tandis qu'elle a augmenté dans l'ouest du Pacifique. Il est beaucoup plus probable que ces changements soient attribuables au phénomène relativement persistant d'El Niño-Oscillation australe (ENSO) des deux dernières décennies, plutôt qu'à une évolution climatique due à l'effet de serre. Les phénomènes ENSO ont tendance à réduire le nombre et l'intensité des ouragans de l'Atlantique et à modifier la répartition des cyclones tropicaux dans le Pacifique. Comme on le verra plus en détail ci-dessous, cette tendance pourrait devenir plus persistante, étant donné que d'après certaines recherches, il semblerait que le comportement inhabituel du phénomène ENSO ces 15 dernières années a fort peu de chance de faire partie des fluctuations naturelles et pourrait très bien être une manifestation du forçage radiatif provoqué par les gaz à effet de serre.

Grêle, tornades et incendies de forêt : Peu d'études ont été menées sur la fréquence comparative de la grêle, mais on a signalé en France une hausse de l'intensité des chutes de grêle en été, associées à des températures nocturnes plus élevées. D'autres perturbations intenses et circonscrites, comme les tornades, présentent des difficultés notoires pour ce qui est de leur comptabilisation, mais la fréquence accrue des tornades dans les Prairies canadiennes semble liée à des températures situées au-dessus de la moyenne normale au printemps et en été, que l'on enregistre de plus en plus nettement depuis une vingtaine d'années. Ce constat semble indiquer que le nombre de tornades pourrait bien augmenter dans les Prairies canadiennes en raison du changement climatique.

Les incendies de forêt plus fréquents dans le parc national Yellowstone entre 1985 et

[12] Lambert, S.J. (1996).

1990 résultent de l'évolution des conditions climatiques. Dans les forêts boréales du centre et du nord-ouest du Canada, la superficie touchée chaque année par les incendies et les insectes a doublé depuis deux décennies, par rapport aux 50 années précédentes. Ce phénomène est attribuable à une tendance au réchauffement statistiquement significative en hiver, au printemps et en été, et probablement à la foudre plus fréquente. D'autres facteurs comme l'âge des arbres et les changements intervenus dans les programmes de lutte contre les incendies peuvent aussi avoir contribué à cette augmentation.

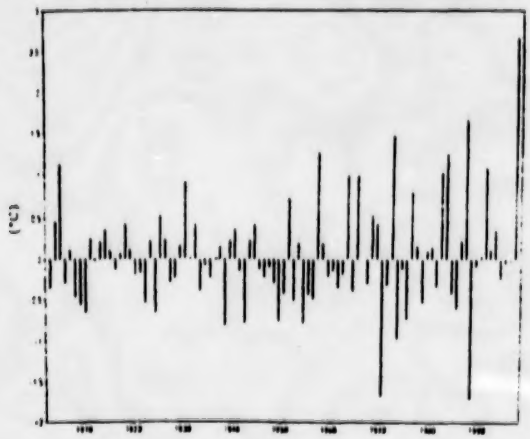
Inondations et sécheresse : Diverses régions du Canada peuvent être touchées par les inondations causées par les pluies, la débâcle et la fonte des neiges. Un hiver plus court causé par le changement climatique pourrait recouvrir de nombreuses régions d'un manteau nival plus mince, ce qui réduirait d'autant le risque d'inondations causées par la débâcle et la fonte des neiges. Mais comme une atmosphère plus chaude peut contenir davantage d'humidité, on craint surtout une augmentation des précipitations. De plus, on s'attend à des précipitations plus intenses et plus localisées, ce qui fait craindre des problèmes d'inondation plus graves, surtout dans les petits bassins hydrographiques.

À l'inverse, pour ce qui est de la sécheresse, on craint que la plus grande fréquence des pluies intenses ne fasse augmenter le nombre de jours sans précipitations entre les pluies, ce qui aggraverait les problèmes de sécheresse. Cet effet serait accentué par l'élévation de la température de l'air et par l'augmentation de l'évaporation. D'après certaines études réalisées à l'aide de modèles de circulation générale, une baisse de la teneur en humidité du sol dans les latitudes intermédiaires du continent nord-américain serait enregistrée, faisant craindre de plus fréquentes sécheresses à l'avenir.

Pour les inondations et les sécheresses, d'autres formes de changements, par exemple, en matière d'utilisation des sols, sont également des facteurs importants de l'évolution des phénomènes météorologiques exceptionnels. Par exemple, la réduction du couvert végétal boisé, l'urbanisation des bassins hydrographiques, l'accroissement de la superficie imperméable sous forme de routes et d'autres changements intervenant dans l'utilisation des sols multiplient les précipitations, faisant augmenter l'eau de ruissellement en surface. Les petits cours d'eau dans les régions touchées subissent des fluctuations de régimes extrêmes caractérisées par des inondations suivies d'un assèchement relatif.

Effets du phénomène El Niño : Depuis le milieu des années 70, les phénomènes El Niño ont été à la fois plus fréquents et plus persistants (voir la figure 2). Parallèlement, il y a eu indéniablement augmentation à la fois de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes. Ce changement de comportement du phénomène ENSO peut expliquer, du moins en partie, beaucoup d'extrêmes météorologiques observés depuis une vingtaine d'années. Comme on l'a fait observer ci-dessus, la répartition différente des cyclones tropicaux et des ouragans est fortement influencée par El Niño et par le phénomène inverse, La Niña. Les chercheurs commencent à s'apercevoir que le changement climatique contribue peut-être à rendre les phénomènes ENSO plus fréquents, plus durables et plus intenses.

Figure 2 : Anomalies de la température de la surface de la mer en juillet dans le Pacifique-Sud (ENSO Région 3) (Indicateur de l'intensité du phénomène ENSO)



Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Centre national de recherches atmosphériques des États-Unis (NCAR) ont tous deux parrainé un atelier qui a eu lieu à Boulder, au Colorado, en juillet 1998, et dont le thème était « *Étude des causes et des conséquences des phénomènes de refroidissement, réunion au sommet sur La Niña* ». Les participants à l'atelier ont conclu que la phase El Niño de 1997-1998 était terminée et que le phénomène moins fréquent de La Niña était en cours. La Niña est soupçonnée de favoriser les ouragans plus destructeurs comme « Georges », qui a tué plus de 300 personnes et causé plus de cinq milliards de dollars US de dommages, et plus récemment, « Mitch », qui a tué plus de 10 000 personnes en Amérique centrale.[13] [14] Les phénomènes ENSO El Niño et La Niña deviennent de plus en plus prévisibles, grâce à la recherche menée dans le cadre du Programme mondial de recherche sur le climat, ce qui permet des prévisions saisonnières plus fiables, tout au moins pour l'ouest du Canada et les latitudes plus basses.

---

[3] L'étude des dommages causés par le phénomène El Niño de 1997-1998 a été entreprise à l'occasion d'un atelier tenu à Guayaquil, en Équateur, à la fin de 1998, qui était organisé par l'Organisation météorologique mondiale.

[4] La recherche sur ces événements liés aux phénomènes météorologiques est subventionnée notamment par un fonds des Nations Unies créé par Ted Turner, coprésident de Time Warner Inc., qui a versé 650 000 $ US pour un projet du PNUE intitulé « *Réduire l'impact des urgences environnementales par la prévention précoce et la protection civile – Le cas de l'oscillation australe El Niño* ».

Pertes causées par les catastrophes

La compilation de statistiques fiables sur les pertes causées par les catastrophes à l'échelle planétaire ou même nationale est une tâche notoirement difficile, en partie parce qu'il n'existe aucune méthode standardisée permettant d'effectuer de telles estimations. Les chiffres sur les pertes économiques incluent parfois des coûts indirects comme la perte de revenus commerciaux, tandis que d'autres estimations ne comprennent que les dommages directs. De plus, certaines estimations peuvent être gonflées pour que les sinistrés aient droit à une aide financière gouvernementale.[15] Même s'il ne faut pas perdre de vue ces réserves en ce qui a trait aux données, tout indique que les pertes économiques mondiales augmentent à un rythme remarquable depuis le début des années 1960. Les pertes économiques directes annuelles, en dollars constants, sont passées d'environ un milliard de dollars par année durant les années 1960 à plus de 50 milliards de dollars par année dans les années 1990. D'après des calculs réalisés par la firme Munich Reassurance, les pertes totales attribuables aux catastrophes naturelles et d'origine humaine s'élevaient à 65 milliards de dollars en 1994 et à 180 milliards de dollars en 1995. Les pertes gigantesques enregistrées en 1995 comprennent les dégâts causés par le séisme de Kobe au Japon, évalués à environ 80 milliards de dollars. Les accidents d'origine humaine ne représentent que de deux à cinq milliards de dollars de ces pertes totales, le reste étant enregistré par les catastrophes naturelles. Bien que seulement 20 p. 100 de ces pertes économiques aient été enregistrées dans des pays à faible revenu, exprimées en pourcentage du PNB, ces pertes étaient 5,5 fois plus lourdes que dans les pays à revenu élevé.

Le Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED) estime qu'au total, 1,9 milliard de personnes ont été touchées par des catastrophes naturelles entre 1986 et 1995.[16] Cela représente environ le tiers de la population mondiale actuelle (quoique certaines personnes aient pu avoir été comptées plusieurs fois, ayant été victimes de plus d'une catastrophe au cours de la décennie). Le nombre de personnes touchées a augmenté en moyenne de 6 p. 100 par année au cours des deux dernières décennies, soit le triple du taux de croissance de la population mondiale.

Le nombre de décès causés par les catastrophes au cours de la dernière décennie est estimé par le CRED à 760 000 dans le monde entier.[17] Bien que les chiffres des pertes

---

[15] Les statistiques les plus fiables sont peut-être celles compilées par l'industrie de l'assurance, en particulier par les grands réassureurs. Autres sources de renseignements : le Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes de l'Université de Louvain (Belgique), et le Bureau de l'aide aux sinistrés du Programme AID des États-Unis. Le Secrétariat de la décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles, situé à Genève, et l'Agence foncière nationale du Japon ont effectué de précieuses compilations et analyses.

[16] Chiffres cités dans *Les conséquences du changement climatique sur les risques naturels*, exposé donné par James P. Bruce (qui était alors président du Conseil du Programme climatologique canadien) devant la Natural Hazards Society, Toronto, 1996

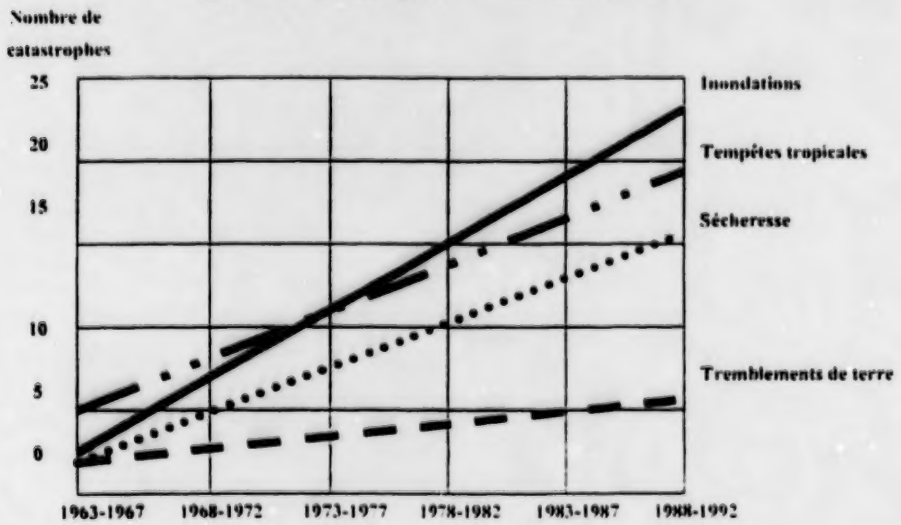
[17] Cité dans Bruce, ci-dessus

économiques et le nombre de personnes touchées aient augmenté de façon exponentielle, le nombre de décès a crû plus lentement depuis le milieu des années 1960, probablement grâce à l'amélioration des systèmes d'atténuation, d'avertissement et de préparation. Il importe de signaler qu'entre 1985 et 1992, 88 p. 100 des décès sont survenus dans les pays à faible revenu.

De grands écarts existent entre les diverses catégories de risques naturels, quant au nombre de décès et de personnes touchées; toutefois, les catastrophes associées au climat (tempêtes, inondations et sécheresse) dominent le tableau.

La meilleure analyse des tendances en matière de pertes causées par les catastrophes qui permet de déterminer si les causes d'origine climatique augmentent de façon disproportionnée est celle qui a été effectuée par le Secrétariat de IDNDR[18] pour la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes naturelles qui s'est déroulée à Yokohama en 1994. On y trouve des données sur les catastrophes « majeures » survenues entre 1963 et 1992[19] (voir la figure 3).

Figure 3 : Catastrophes – Évolution mondiale



Au cours de la période, pour les catastrophes ayant causé des dégâts supérieurs à 1 p. 100 du PNB du pays visé, le nombre de tremblements de terre a doublé ou triplé, mais le nombre de périodes de sécheresse a été multiplié par cinq à sept; les inondations ont été de huit à douze fois plus nombreuses alors que les tempêtes tropicales ont été environ quatre fois plus fréquentes. Pour les catastrophes qui ont touché plus de 1 p. 100 de la

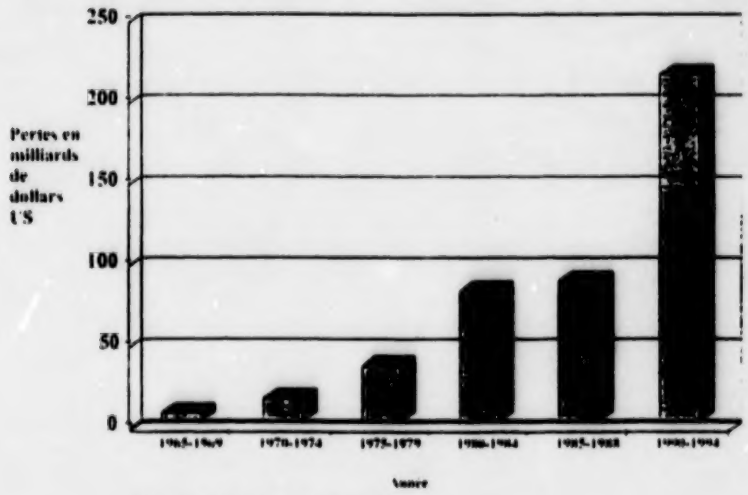
[18] Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles.

[19] Les catastrophes « majeures » sont définies de la façon suivante : dommages supérieurs à 1 p. 100 du PNB annuel du pays touché, nombre de personnes touchées dépassant 1 p. 100 de la population et nombre de décès supérieur à 100.

population, ce sont les inondations et les sécheresses qui ont affiché les taux d'augmentation les plus élevés, plus du double de celui des cyclones tropicaux, dont le nombre a doublé.

On trouve une autre preuve de l'augmentation beaucoup plus rapide du nombre des catastrophes majeures d'origine climatique dans les données de la Swiss and Munich Reinsurance, qui indiquent que l'incidence économique annuelle des grandes tempêtes de vent (ayant causé des dommages de plus de 500 millions de dollars) a été décuplée entre les années 1960 et le début des années 1990 (voir la figure 4).

Figure 4 : Pertes quinquennales assurées dans le monde, de 1965 à 1994 (en milliards de dollars US de 1992)



PIB mondial (en billions de dollars)

1965	1970	1980	1990
8.5 $	10.5 $	15.5 $	21 $

Sources : Agence foncière nationale du Japon et Munich Reinsurance

Les pertes directement causées par les catastrophes se sont donc multipliées par 50 entre 1965 et 1994, tandis que le PNB mondial a seulement triplé pendant la même période. Ce taux d'augmentation est également beaucoup plus élevé que la croissance de la population mondiale, qui est passée d'environ trois milliards à 5,6 milliards pendant la même période.

Si l'on considère que l'augmentation des pertes causées par les tremblements de terre est généralement proportionnelle à l'augmentation de la population mondiale et à la valeur de l'infrastructure exposée, pourquoi les pertes causées par des événements climatiques

augmentent-elles à un rythme beaucoup plus rapide? Il est difficile d'établir si le taux de développement économique est plus rapide dans les régions touchées par les inondations et les tempêtes que dans les régions frappées par des tremblements de terre; on constate toutefois que dans beaucoup de régions du monde, ce sont grosso modo les mêmes secteurs qui sont touchés par les deux types de phénomènes et il est donc improbable que l'écart de développement puisse expliquer les différences énormes enregistrées entre les taux de changement. Par conséquent, le taux d'augmentation beaucoup plus rapide des pertes causées par des catastrophes associées au climat comme les inondations, les tempêtes et les sécheresses semble indiquer que ces catastrophes naturelles augmentent effectivement en fréquence et en sévérité.

Au Canada, comme on peut le voir au tableau 2 et à la figure 5, les pertes assurées causées par les phénomènes météorologiques violents sont égales ou supérieures à celles indiquées ci-dessus pour le reste du monde; on constate que les pertes ont été multipliées par 30 environ entre 1984 et 1998, passant de quelque 39 millions de dollars aux pertes énormes enregistrées en 1998, soit plus de 1,450 milliard de dollars.

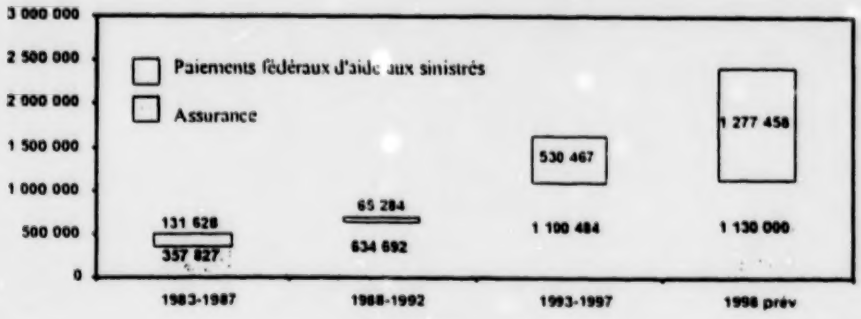
TABLEAU 2 : Pertes causées par les catastrophes survenues au Canada de 1984 à 1998 [20]

ANNÉE	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
PERTE EN M $	39	101	12	170	8	14	16	484	94	255	200	376	760	205	1450

Note : Les pertes ci-dessus sont assurées et ne comprennent pas les pertes économiques comme les pertes résidentielles causées par les inondations, qui ne sont pas assurables.

[20] D'après Angus Ross, de la Sorema Reinsurance

Figure 5 : Coût des catastrophes climatiques pour le gouvernement fédéral et les assureurs, 1983-1998 (en milliers de $)



À noter que la portion assumée par l'industrie de l'assurance pour la période allant de 1993 à 1997 comprend une tranche estimative de 100 millions de dollars pour 1997; les paiements fédéraux d'aide aux sinistrés et le total assumé par l'industrie de l'assurance sont donnés à titre indicatif seulement pour 1998.

Résumé des changements à ce jour : Les faits saillants de ce bref résumé sont les suivants :

1. Les pertes mondiales causées par les catastrophes associées aux phénomènes météorologiques ont augmenté de façon vertigineuse depuis quelques dizaines d'années, soit trois fois plus rapidement que les pertes causées par les tremblements de terre, et cette même tendance est observée au Canada.
2. Trois facteurs semblent expliquer cet alourdissement du bilan des catastrophes :
   a) l'accroissement de la population et des infrastructures exposées aux risques;
   b) des changements dans l'utilisation des sols influant sur la fréquence des inondations et des sécheresses;
   c) la plus grande fréquence, tout au moins régionalement, des précipitations intenses et des tempêtes extra-tropicales violentes.

3. L'importance relative de ces trois facteurs est difficile à établir à partir des données disponibles.

4. Les mesures d'atténuation des catastrophes, surtout les systèmes d'avertissement et de protection civile pour les inondations et les tempêtes, ainsi qu'une meilleure conception des immeubles pour qu'ils résistent mieux aux séismes, aux vents forts et à la surcharge de neige, en particulier dans les pays industrialisés, ont limité l'augmentation du nombre des décès, mais ne semblent pas avoir eu d'incidence importante sur les pertes économiques ou sur le nombre de personnes touchées.

Projections des phénomènes météorologiques exceptionnels au Canada : En raison de sa situation géographique septentrionale et de son immense superficie s'étendant jusqu'à la toundra arctique, de ses plaines intérieures et de son très long rivage maritime, le Canada sera exposé à des phénomènes météorologiques exceptionnels, entraînant par là-même une forte probabilité de catastrophes. Il est notoirement difficile de faire des projections en la matière, mais d'après la plupart des études réalisées, la concentration dans l'atmosphère de gaz équivalent CO_2 aura doublé au milieu du siècle prochain par rapport à l'ère préindustrielle. Hormis une intervention majeure menée aux termes de la Convention-cadre sur le changement climatique de l'ONU, le deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique (GIEC) ne peut faire que les projections suivantes pour le Canada :[21]

- En général, pour chaque augmentation de 1°C de la température du globe, les précipitations augmentent d'environ 5 p. 100 à cause de l'accélération du processus d'évaporation. Par conséquent, les amplitudes extrêmes du cycle hydrologique (inondations et sécheresses) devraient devenir plus fréquentes. La fréquence des précipitations intenses pourrait s'accroître de plus de 50 p. 100 et l'intensité de ces précipitations pourrait augmenter dans une proportion atteignant 50 p. 100. Des phénomènes météo qui se produisent actuellement tous les 20 ans pourraient donc se reproduire tous les dix ans.

- On prévoit une plus grande fréquence des fortes pluies d'orage et des glissements de terrain, surtout dans l'ouest du Canada.

- Des données récentes laissent entrevoir une intensification très marquée des incendies de forêt menaçant de nombreuses localités dans les régions boisées. Ces incendies pourraient frapper jusqu'à 30 à 50 p. 100 des forêts boréales au cours du prochain demi-siècle. Au Canada, le nombre d'incendies déclenchés par la foudre pourrait augmenter de 44 p. 100 et la superficie incendiée de 78 p. 100.

- Les hivers seront probablement plus chauds et plus humides, les étés plus chauds et plus secs. Dans certaines régions, ce phénomène pourrait réduire la couverture neigeuse qui alimente les rivières et les réservoirs d'eau en été, ce qui pourrait entraîner des pénuries d'eau et d'électricité, ainsi qu'un accroissement des incendies de forêt, des infestations d'insectes et des dommages aux récoltes. Dans d'autres régions, on prévoit que les chutes de neige extrêmement abondantes deviendront plus fréquentes.

- Les éléments de preuve recueillis en ce qui a trait aux changements observés dans la fréquence des sécheresses ne sont ni uniformes ni convaincants, mais la fréquence et

[21] Chiffres cités dans *Les conséquences du changement climatique sur les risques naturels*, exposé donné par James P. Bruce (qui était alors président du conseil du Programme climatologique canadien) devant la Natural Hazards Society, Toronto, 1990

la gravité des sécheresses dans les grandes régions céréalières du Canada pourraient s'accroître à l'avenir.

- Le niveau moyen de la mer s'est élevé de 10 à 25 cm depuis un siècle. D'après les projections établies, la future élévation du niveau de la mer dans un monde en réchauffement risque d'être de deux à cinq fois le taux observé par le passé, la projection moyenne faisant état d'une élévation de 0,5 mètre d'ici 2100. Une élévation du niveau moyen de la mer d'un demi-mètre ferait doubler le nombre de personnes exposées aux inondations côtières dans le monde, qui passerait de 46 à 92 millions. Au Canada, des localités seraient touchées sur nos trois côtes.

V. Atténuation des catastrophes et protection civile : la prévention est payante

En dépit des grands efforts qui ont été déployés et des nombreux progrès accomplis dans l'atténuation des catastrophes naturelles, celles-ci continuent de causer chaque année des pertes énormes en vies humaines, blessures et dommages aux biens, et tout indique que l'on peut s'attendre à ce que la situation empire considérablement à l'avenir à cause du changement climatique et d'autres facteurs. Comme on l'a vu ci-dessus, les projections pour le Canada montrent que la fréquence des événements météorologiques exceptionnels augmentera probablement de façon marquée dans presque toutes les régions du pays.

Pourquoi changer? Certains sont d'avis que l'on ne devrait rien faire tant que l'on n'aura pas établi avec une plus grande certitude l'existence du changement climatique et la relation de cause à effet entre ce changement et la fréquence et la sévérité accrues des catastrophes naturelles associées au climat. Toutefois, il pourrait être extrêmement risqué d'attendre que les conclusions scientifiques soient confirmées avant de prendre des mesures, car des changements irréversibles se sont peut-être déjà produits, faisant subir d'énormes pertes économiques et humaines que l'on aurait pu éviter en prenant des mesures de prévention ou d'atténuation des catastrophes naturelles. Il semblerait par ailleurs que les éventuelles mesures visant à renforcer la prévention et l'atténuation comportent des avantages économiques et sociaux suffisants pour justifier ces activités en elles-mêmes.

Une plus grande priorité donnée à la prévention et l'atténuation des risques et à la protection civile. À mesure que la société devient plus complexe, les coûts économiques et sociaux des catastrophes naturelles augmentent chaque année, comme on l'a vu ci-dessus. D'après les projections démographiques établies, de plus en plus de Canadiens vont vivre et travailler dans des régions où le risque de catastrophes naturelles est élevé. Il est manifeste qu'il faut encourager des interventions opportunes et un bon rapport coût-efficacité afin de sauver des vies, de réduire les dommages aux biens et de limiter le coût des catastrophes, surtout quand on sait que l'on doit s'attendre à ce que les événements météorologiques exceptionnels deviennent plus fréquents et plus sévères à

cause du changement climatique. L'atténuation et la prévention des risques et le renforcement de la protection civile doivent donc revêtir une plus grande priorité au niveau national. Il est clair qu'en dépit des efforts déployés par le passé, il faut absolument renouveler et renforcer le cadre qui permet de fixer des objectifs nationaux à long terme, établir ou renforcer les normes techniques et créer un système d'évaluation des progrès.

Les pertes causées par les phénomènes météorologiques exceptionnels ne sont pas seulement inquiétantes pour l'avenir. Les Canadiens subissent en ce moment même des pertes causées par le climat de leur pays. Même si l'on ne peut pas attribuer directement au changement climatique la tempête de verglas de 1998, les inondations de la rivière Rouge de 1997 et celles du Saguenay en 1996, ces événements correspondent précisément au genre de phénomènes météorologiques exceptionnels qui sont associés à la déstabilisation de l'atmosphère et à l'intensification du cycle hydrologique. Une grande partie des pertes subies à l'occasion de ces événements traduit la portée et le type de mesures précédemment adoptées ou que l'on a négligé d'adopter. Parfois aussi, les pratiques de développement antérieures nous ont rendus plus vulnérables aux catastrophes naturelles (p. ex. l'installation d'infrastructures et la modification des plaines inondables pour y aménager des logements).

Aspects environnementaux des catastrophes. Le lien entre les catastrophes naturelles et la pollution de l'environnement n'est ni précis ni clair; toutefois, les incendies de forêt et les sécheresses (attribuables à l'érosion du sol) polluent énormément l'air, l'eau et les terres au Canada. À l'occasion des pluies intenses et des inondations, les rejets de polluants dans l'eau sont grandement accrus à cause de l'insuffisance des égouts pluviaux attribuable à la plus grande superficie du sol recouverte de bitume et à la plus grande intensité des pluies depuis le milieu des années 1980. Ces événements sont peut-être la principale cause des déversements de polluants dans les eaux.[22]

Répercussions secondaires des catastrophes. Les préoccupations relatives à la collaboration entre les parties responsables de la santé publique, de l'approvisionnement en nourriture et des questions environnementales, et à l'interaction entre les activités d'atténuation de ces diverses parties, devraient encourager un degré plus poussé d'entraide mutuelle dans ces domaines aux niveaux fédéral, provincial et local. Les inondations et les sécheresses répétitives dont on a fait l'expérience récemment au Canada ont eu de graves conséquences pour les particuliers, les entreprises, les collectivités et le Trésor public. Les effets secondaires des catastrophes naturelles associées aux phénomènes météorologiques peuvent comprendre :[23]

---

[22] Tiré de *Sommaire des déversements au Canada*, 1984-1995, Environnement Canada, juillet 1998. Voir en particulier le tableau 2.2.1.b et la figure 2.2.3.

[23] D'après le rapport de l'Office du programme climatologique canadien au Secrétariat national du changement climatique, intitulé *Comprendre le changement climatique et s'y adapter*, dans lequel on cite le rapport du GIEC sur « Les incidences régionales du changement climatique » et « L'étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique ».

- *Conséquences pour la santé humaine.* Des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses pourraient causer un plus grand nombre de maladies et de décès, en particulier parmi les populations névralgiques des grandes agglomérations urbaines du sud de l'Ontario et du Québec. Une augmentation de la fréquence des tempêtes violentes, y compris des tornades et des fortes pluies, pourrait entraîner un nombre accru de blessures et de décès.

- *Incidences sur les ressources en eau.* Bien que le Canada possède d'abondantes ressources en eau, des pénuries dans certaines régions entraînent déjà des conflits quant au partage des réserves en eau. Un climat plus chaud entraînera probablement une intensification du cycle hydrologique, les précipitations tombant sous forme de pluies moins fréquentes, mais plus intenses et séparées par de plus longues périodes de sécheresse. C'est particulièrement vrai dans les Prairies canadiennes.

- *Écosystèmes.* Le changement climatique causera probablement une septentrionalisation de la végétation, ce qui pourrait avoir une incidence sur diverses industries comme l'exploitation forestière et le tourisme qui dépendent d'une certaine forme de végétation. Il y aurait des gains de productivité dans certaines régions, mais des pertes ailleurs.

- *Infrastructure.* La plupart de nos bâtiments, routes et réseaux d'égout sont conçus pour le climat que nous connaissons depuis une cinquantaine d'années. Tout changement climatique pourrait nécessiter des changements dans la conception et même le remplacement des bâtiments et structures avant la fin de leur durée de vie utile. Dans le Nord, les structures comme les maisons et les pipelines risqueraient d'être endommagés par la fonte du pergélisol et l'effondrement des terrains. Une plus grande intensité des précipitations dans les régions montagneuses pourrait aussi faire augmenter le risque d'avalanches et de glissements de terrain.

Gestion du risque : Il faudra mettre en oeuvre divers processus sociaux et politiques pour gérer les risques associés aux phénomènes météorologiques exceptionnels. Une meilleure connaissance des outils disponibles permettant d'analyser et de gérer certains risques assurerait une application plus uniforme de ces outils. En particulier, l'identification et l'analyse des risques doivent être appliquées à tous les événements dangereux d'origine naturelle et aux catastrophes environnementales et technologiques qui y sont associées.

Il existe déjà un certain nombre d'outils qui sont à notre disposition et qui permettent d'atténuer et de prévenir la plupart des événements météorologiques exceptionnels, notamment :

- planification et gestion de l'aménagement du territoire;
- codes et normes du bâtiment;

- assurance;
- prédictions et projections;
- systèmes d'alerte;
- génie civil;
- nouvelles technologies.

Les Canadiens ont la chance de posséder une norme nationale[24] qui énonce et explique le processus itératif et corrélatif de la gestion du risque. Ce processus systématique, scientifique et bien connu pourrait et devrait être appliqué aux activités de prévention et d'atténuation des catastrophes naturelles et au renforcement de la protection civile, tout comme il a été appliqué avec succès à la gestion des risques associée aux catastrophes technologiques.

La collaboration est primordiale. Des groupes de travail réunissant des intervenants issus d'organismes publics et privés, en particulier des principaux départements des administrations publiques aux niveaux fédéral, provincial, territorial et municipal, doivent travailler de concert pour examiner comment l'on pourrait appliquer ces outils de façon optimale. Le coût de la révision et de l'application de certains des outils les plus efficaces en matière d'atténuation, comme les codes du bâtiment, les normes techniques et les travaux publics sera une question fort préoccupante dont il faudra tenir compte dans tout plan national. On en traitera plus en détail dans la partie suivante.

En bref, la probabilité de catastrophes causées par les extrêmes climatiques plus nombreux et plus fréquents à l'avenir pourrait servir de catalyseur à la coopération nationale dans deux grands domaines d'activité :

- Des efforts accrus pour renforcer les activités en matière d'alerte, de prévention et de préparation aux catastrophes, sous l'égide de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles décrétée par l'ONU.

- Des mesures plus énergiques pour limiter les émissions de gaz à effet de serre afin de respecter ou même de dépasser les engagements pris par le Canada aux termes de la Convention-cadre sur le changement climatique des Nations Unies.

Au niveau local, on pourrait envisager un certain nombre de mesures susceptibles d'aider à prévenir les catastrophes, à en atténuer l'impact, à améliorer notre intervention ou à accélérer la remise en état :

- Prendre toutes les mesures raisonnables aux niveaux personnel et communautaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

---

[24] Voir Norme nationale du Canada, CAN/CSA-Q850-97, *Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs*, Association canadienne de normalisation, 1997.

- Au niveau de la gestion du risque, utiliser les outils et techniques servant au processus de gestion du risque et les appliquer à la prévention des catastrophes naturelles, à leur atténuation et à la protection civile. Voir la norme nationale de gestion du risque, Q850-97, *Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs*.

- Prévoir que les événements météorologiques violents deviendront plus fréquents qu'ils ne l'étaient par le passé; ainsi, les inondations qui se produisent une fois par siècle pourraient maintenant se produire tous les 50 ans et les événements qui surviennent tous les deux siècles pourraient se produire une fois par siècle. Cela a d'importantes répercussions pour les travaux publics comme la prévention des incendies, la construction de digues et de talus, la conception des égouts, etc.[25]

- Contribuer aux activités de préparation aux niveaux local et municipal en encourageant l'organisation de réunions et de comités de coordination et en y participant, et en insistant pour que des mesures soient prises. Il devrait être considéré inacceptable qu'une municipalité ne dispose pas d'un plan éprouvé et validé pour tous les risques recensés.

- En cas de catastrophe grave, la cellule familiale doit souvent se débrouiller seule pendant une période pouvant aller de 24 à 48 heures. Il est tragique de constater que l'incapacité de se débrouiller à ce niveau cause beaucoup, sinon la plupart, de pertes de vie dans le sillage immédiat d'une catastrophe. Les programmes qui s'adressent au grand public doivent mettre l'accent sur la nécessité d'acquérir cette autonomie minimale au niveau de la cellule familiale.

VI. Stratégies d'adaptation essentielles au changement climatique : atténuation et protection civile

Comme on l'a vu précédemment, il est maintenant généralement reconnu qu'un changement quelconque de notre climat est en train de se produire et que ce changement se poursuivra pendant un certain nombre de décennies, en dépit des plans de réduction des émissions et des niveaux de gaz à effet de serre. Nous devrons notamment nous adapter à la fréquence et à la gravité accrues des phénomènes météorologiques exceptionnels et aux catastrophes naturelles qui les accompagnent. Il y a deux raisons principales qui rendent impérative cette adaptation. Premièrement, les diverses mesures d'adaptation que l'on peut prendre peuvent atténuer les répercussions du changement climatique et donc le danger qu'il pose pour la société. Deuxièmement, l'adaptation est considérée comme une importante action ou stratégie d'intervention face aux préoccupations que soulève le changement climatique et doit se faire parallèlement aux

[25] Voir l'ouvrage de Zwiers. Les intervalles entre la répétition des événements seront approximativement réduits de moitié.

efforts de réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre.[26]

Il y a peut-être lieu de préciser maintenant le sens des mots « atténuer » et « atténuation » et d'autres termes employés dans le domaine de la gestion du risque et des catastrophes, car ces expressions sont utilisées dans un contexte quelque peu différent par les experts du changement climatique et de la protection civile.

TABLEAU 3 : Terminologie

risque	Source de dommages ou de torts potentiels, ou situation pouvant causer des torts ou dommages : décès et blessures, atteintes à la santé, aux biens, à l'environnement et à d'autres éléments de valeur.[27]
atténuation	Dans le vocabulaire du changement climatique, mécanisme, méthode ou procédé permettant de réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre ou d'accroître la capacité ou le nombre de puits de carbone.
atténuation	Dans le vocabulaire de la protection civile, atténuer signifie rendre moins dur, hostile, sévère ou douloureux; prendre de façon continue des mesures visant à réduire le risque pour la vie, les biens et l'environnement causé par les catastrophes en tous genres.[28]
prévention	Terme propre à la protection civile signifiant toute action visant à empêcher ou à retarder une situation d'urgence, une catastrophe, un déversement ou un rejet.
risque	Possibilité de blessures ou de pertes définies comme mesure de la probabilité et de la gravité d'une atteinte à la santé, aux biens, à l'environnement ou à d'autres éléments de valeur.[29]
gestion du risque	Application systématique de politiques, de procédures et de pratiques de gestion aux tâches d'analyse, d'évaluation, de contrôle et de communication en matière de risque.[30]

L'adaptation au climat n'est rien de nouveau. Depuis des milliers d'années, les sociétés humaines se sont adaptées avec succès à une grande diversité de climats. Cette adaptation a été tellement couronnée de succès que les êtres humains, contrairement à toute autre espèce, peuvent vivre et prospérer dans presque toutes les régions climatiques de la planète. Le climat varie beaucoup plus d'un endroit à l'autre que d'une époque à l'autre. L'ingéniosité humaine a permis à l'humanité de s'adapter partout. Étant donné que les êtres humains peuvent s'adapter à presque n'importe quel climat, la principale

---

[26] Smit, B., Burton, I., Klein, R.J.T. (à paraître en 1998), « L'anatomie de l'adaptation au changement climatique et à la variabilité du climat », document rédigé pour un numéro spécial de *Le changement climatique* ayant pour thème *L'adaptation sociétale à la variabilité et au changement climatique*.

[27] Norme nationale du Canda, CAN CSA-Q850-97, *Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs*, Association canadienne des normes, 1997, page 3.

[28] Tiré d'une ébauche de document de Protection civile Canada intitulé *Une politique nationale d'atténuation*, octobre 1998.

[29] CAN CSA-Q850-97.

[30] CAN CSA-Q850-97.

préoccupation en matière d'adaptation est qu'elle prend du temps et qu'elle peut être coûteuse.

L'adaptation à notre climat actuel s'est faite soigneusement et méticuleusement, au fil de plusieurs décennies et même de plusieurs siècles, et est manifeste dans toutes les conceptions et pratiques. On estime à plus de 11,6 milliards de dollars par an les frais d'adaptation au climat actuel du Canada. Cet accomplissement est tellement généralisé qu'il passe presque inaperçu. Ces dépenses annuelles ne tiennent toutefois pas compte des mesures visant à se préparer aux phénomènes météorologiques exceptionnels.

Les stratégies d'adaptation des systèmes humains à un climat changeant peuvent comprendre des mécanismes technologiques, économiques, juridiques ou institutionnels. Certaines des stratégies d'adaptation énumérées ci-dessous existent depuis de nombreuses années. Toutefois, elles n'ont pas été correctement ou complètement appliquées dans le passé aux efforts d'atténuation des effets des catastrophes naturelles. Ces stratégies comprennent, entre autres :

- Des contraintes quant à l'utilisation des sols, surtout dans les plaines inondables, le long des rivages maritimes, dans les secteurs vulnérables aux glissements de terrain et dans d'autres régions que l'on considère à risque.

- Les codes de sécurité et d'incendie propres aux bâtiments et aux autres structures à caractère public.

- L'adoption d'un système de gestion des situations d'urgence, dont des mesures d'éducation et de formation du public.

- Des modifications de l'infrastructure dans un but de prévention et d'atténuation : barrages et déversoirs, dérivation d'inondations, digues, ouvrages de stabilisation des sols, tours de transmission, dispositifs et canaux de communication, etc.

- L'établissement de programmes efficaces pour la remise en état après la catastrophe et l'aide apportée aux gouvernements provinciaux et locaux.

- La mise en oeuvre de programmes de santé publics, agricoles et environnementaux pour assurer la survie et le fonctionnement efficace des services publics essentiels.

- Révision des cartes des plaines inondables et des codes pour la charge nivale et la pression exercée par le vent, ainsi que la périodicité des phénomènes. L'adaptation à de nouvelles réalités – par exemple, les inondations qui normalement ne revenaient que tous les deux siècles pourraient se produire dorénavant tous les 100 ans.

- Intervention en cas de catastrophe :

- De nouvelles responsabilités pour les services d'urgence et d'autres organismes, afin de répondre à l'augmentation prévue des phénomènes météorologiques exceptionnels.

- Attentes du public et nécessité d'une certaine autonomie individuelle et familiale pendant une certaine période au tout début de la catastrophe.

- Changement des structures de service en situation d'urgence.

- Remise en état : nouvelles stratégies pour assurer la continuité des activités gouvernementales et commerciales. Permettre à la vie communautaire de revenir à la « normale ».

VII. Étapes suivantes proposées et questions qu'elles peuvent soulever

La présente partie vise à stimuler la réflexion et la discussion au sujet de ce que pourraient ou devraient être les prochaines étapes du processus de réflexion sur les répercussions du changement climatique, en matière de prévention, d'atténuation et de protection civile relativement aux événements météorologiques exceptionnels et aux catastrophes naturelles. Les opinions exprimées ici sont celles des auteurs.

Préciser et confirmer les conclusions scientifiques : Le changement climatique et les phénomènes météorologiques exceptionnels font, et continuent de faire, l'objet de nombreuses recherches. Les résultats de ces recherches auront de profondes répercussions sur les communautés de la protection civile et de l'intervention. Il faudra peut-être mettre au point de nouveaux processus, mécanismes, alliances et partenariats pour faire en sorte que les renseignements les plus récents soient diffusés et assimilés par ceux qui doivent les posséder.

Renforcer les politiques actuelles de prévention, d'atténuation et de protection civile : D'importants changements intervenant dans la fréquence et la gravité des événements météorologiques devraient entraîner une modification des codes, règlements et pratiques qui régissent de nombreux aspects de nos vies quotidiennes. Des variables comme la surcharge exercée par le vent, l'eau et la neige dans les codes du bâtiment, la périodicité des inondations, des pluies intenses, des chutes de grêle et des tempêtes de neige, les cartes géographiques des plaines inondables, les critères de l'assurance-récolte, les pratiques de rotation culturale, les critères pour la conception des structures municipales comme les égouts et les aqueducs, les critères de conception des routes, ponts, barrages et autres structures, ainsi qu'une foule d'autres pratiques exigeront d'importantes modifications. À elles seules, les pratiques en matière de santé publique représentent un domaine immense qui sera directement visé par les changements intervenant dans la fréquence et la gravité des événements météorologiques exceptionnels

et les catastrophes naturelles qui s'ensuivent. Le processus de changement de ces codes, normes, pratiques, etc. sera probablement très difficile, coûteux et conflictuel.

La protection civile est essentielle pour assurer la protection des populations et de l'infrastructure en cas de catastrophes naturelles. Il sera peut-être nécessaire au Canada de voir à l'élaboration, par les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux et avec l'appui enthousiaste des municipalités, d'une stratégie nationale globale de la protection civile.

Adopter le processus de gestion du risque : Il faudrait profiter du processus de gestion du risque, défini et énoncé dans la nouvelle norme nationale du Canada, Q850-97, *Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs*, pour faire adopter par la communauté de la protection civile un processus complet de gestion des risques associés aux catastrophes naturelles d'origine climatique. Ce processus comprend certaines pratiques actuellement utilisées avec succès par les professionnels de la protection civile, par exemple l'identification et l'analyse des risques. Toutefois, on y ajouterait de nouveaux aspects comme l'évaluation du risque, le contrôle du risque et les communications relatives aux risques, le tout pouvant se révéler très avantageux pour le processus de protection civile. Le processus de gestion du risque met l'accent sur la nature itérative de tout le processus qui est un aspect important de la protection civile.

Obtenir l'adhésion des principaux groupes d'intervenants : À ce jour, les questions que soulève le changement climatique ont mis en cause des groupes spécialisés comme les scientifiques de la climatologie, les groupes de défense de l'environnement, certains niveaux de gouvernement et divers intérêts du secteur privé (y compris l'industrie de l'assurance et de la réassurance et le secteur de l'énergie). Ce sont essentiellement les groupes qui ont perçu des menaces identifiables associées au changement climatique, mais qui sont aussi principalement des partisans de l'agenda du réchauffement planétaire. De même, les questions entourant les catastrophes naturelles d'origine climatique ont leurs propres figures de proue. Ces questions intéressent surtout les organisations de protection civile et d'intervention d'urgence aux niveaux fédéral et municipal, les organisations non gouvernementales, le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire et le secteur des transports, entre autres. Traditionnellement, il n'y a pas beaucoup de points communs entre les visées des deux groupes, c'est-à-dire entre ceux qui préconisent l'adaptation au changement climatique et ceux qui s'intéressent à l'atténuation des catastrophes naturelles d'origine climatique. Il y aurait beaucoup de travail à faire pour obtenir de ces deux groupes, et d'une couche plus large de la population, qu'ils travaillent simultanément aux divers dossiers – ce qu'ils ont en commun, c'est la réduction du risque.

Identifier des questions supplémentaires ou des thèmes spéciaux : D'aucuns ont dit que l'impact du changement climatique sur la civilisation sera plus profond que l'avènement de l'ère atomique ou de l'ère de l'information. Même si ce n'est pas le cas, de nombreuses questions justifient la tenue d'ateliers ou des travaux de recherche. Les groupes d'intervenants engagés et éclairés devront être très vigilants, afin que les

politiques et les stratégies puissent être rajustées en fonction des changements survenus par rapport aux prédictions et aux résultats. Certaines questions supplémentaires qui justifieraient qu'on leur accorde une attention prioritaire sont :

- *La pollution* – les déversements et rejets de polluants dans l'air, dans l'eau et dans le sol qui accompagnent les catastrophes naturelles.

- *La santé* – la mortalité, les maladies infectieuses et les épidémies et les maladies respiratoires causées par la mauvaise qualité de l'air, consécutivement aux catastrophes climatiques.

- *L'agriculture et l'agroalimentaire* – dommages agricoles causés par les catastrophes, exigences en matière d'irrigation, rendement des récoltes, maladies des plantes et infestations d'insectes.

- *Les forêts*– l'intensification des incendies de forêt et autres dommages, changement dans la composition et l'étendue géographique des forêts, santé et productivité des forêts.

- *Les ressources en eau* – vulnérabilité aux changements provoqués par les catastrophes, changements dans l'approvisionnement et la qualité de l'eau, concurrence accrue pour l'obtention des réserves.

- *Les régions côtières* – inondation des terres et des localités côtières, dommages aux infrastructures côtières et érosion des sols.

Opérer les changements : En général, les gens ne s'intéressent pas aux « urgences » en temps normal; ils ont plutôt tendance à nier l'existence de problèmes. En temps de crise, les gouvernements se perçoivent comme des « secouristes ». Immédiatement après une urgence ou une crise, les instances politiques sont plus favorablement disposées à opérer des changements dans les systèmes d'intervention d'urgence ou de gestion du risque. Les professionnels de la protection civile qui veulent apporter des changements aux systèmes d'intervention d'urgence ou de gestion du risque devraient envisager de faire à l'avance tous les travaux préparatoires aux changements souhaités, avec l'intention d'obtenir l'approbation des instances politiques quand la situation s'y prêtera – c'est-à-dire immédiatement après une catastrophe.

L'intensification et le renforcement des efforts de protection civile et d'atténuation des catastrophes auront d'importants avantages économiques et sociaux. La plus grande fréquence et l'intensification des phénomènes climatiques exceptionnels, qui s'accompagnent de destructions, de dommages, de blessures et de pertes de vie, démontrent clairement qu'il est impératif, dans un climat en évolution, de renforcer les efforts de protection civile et d'atténuation des catastrophes.

Partie 1 : Les aspects scientifiques du changement climatique

Bengtsson, L., M. Botzet, and M Esch, 1996. Will greenhouse gas-induced warming over the next 50 years lead to higher frequency and greater intensity of hurricanes? *Tellus*, 48A, 57-73.

Born, K., 1996. Tropospheric warming and changes in weather variability over the northern hemisphere during the period 1967-1991. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 56, 201-215.

Bouws, E., Janninie, D., and Kouen, G.J., 1996. The increasing wave height in the North Atlantic Ocean., *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(10), 2275-2277.

Broccoli, A.J., Manabe, S., and Mitchell, J.F.B., 1995. Comments on Global climate change and tropical cyclones: Part II, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, 2244-2245.

Bruce, J. P., 1994. Natural Disaster Reduction and Global Change, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75(10), 1831-1835.

Burroughs, W.J., 1992. Weather cycles: Real or imaginary?, Cambridge University Press, Cambridge.

Carnell, R.E., Senior, C.A., and Mitchell, J.F.B., 1996. An assessment of measures of storminess: simulated changes in northern hemisphere winter due to increasing CO_2, *Climate Dynamics*, 12, 467-476.

Cubasch, U., Waszkewitz, J., Hegerl G., and Perlwitz, J., 1995. Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. *Climatic Change*, 31, 275-304.

Davis, R.E. and Dolan, R., 1993. Nor'easters. *American Scientist*, 81, 228-439.

Dessens, J., 1995. Severe convection weather in the context of a nighttime global warming. *Geophysical Research Letters*, 22, 1241-1244.

Dixon, R.K., and Krankina, O.N., 1993. Forest fires in Russia: Carbon dioxide emissions to the atmosphere, *Canadian Journal of Forest Research* 23, 700-705.

Emanuel, K.A., 1995. Comments on Global climate change and tropical cyclones: Part I. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, 2241 - 2243.

Environment Canada, 1995. The State of Canada's Climate: monitoring variability and change. Environment Canada, Downsview, Ontario. SOER Report No. 95-2.

Etkin, D., 1998. Climate change and extreme events. *Canada Country Study: climate impacts and adaptation. Volume VIII: National Cross-Cutting Issues.* Mayer, N., and Avis, W., eds. Environment Canada, Environmental Adaptation Research Group, Downsview, pp. 31-80.

Etkin, D., 1995. Beyond the year 2000: More tornadoes in western Canada? Implications from the historical record. *Natural Hazards*, 12, 19-27.

Folland, C. K.., Karl, T.R., Ya, K., Vinnikov, 1990. Observed climate variation and change. *Climate Change: The IPCC scientific assessment.* Houghton, J.T., Jenkins, G.J., and Ephraums, J.J., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 195-238.

Foukal, P., and Lean, J., 1990. An empirical model of total solar irradiance variation between 1874 and 1988, *Science*, 247, 556-558.

Fowler, A.M., and Hennessey, K.J., 1995. Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation. *Natural Hazards*, 11, 283-303.

Francis, D., and Hengeveld, H., 1998. Extreme Weather and Climate Change, *Climate Change Digest*, Minister of Supply and Services, Ottawa.

Gordon, H.B., Whetton, P.H., Pittock, A.B, Fowler, A.M., and Haylock, M.R. 1992. Simulated changes in daily rainfall Intensity due to the enhanced greenhouse effect: implications for extreme rainfall events. *Climate Dynamics*, 8, 83-102.

Gregory, J. M., and Mitchell, J.F.B., 1995. Simulation of daily variability of surface temperatures and precipitation over Europe in the current and 2 x CO_2 climates using the UKMO climate model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121, 1451-1476.

Haigh, J.D., 1994. The role of stratospheric ozone in modulating the solar radiative forcing of climate. *Nature*, 370, 544 -546.

Haigh, J.D. 1996. The impact of solar variability on climate. *Science*, 272, 981-984.

Hall, N.M.J., Hoskins, B.J., Valdes, P.J., and Senior, C.A., 1994. Storm tracks in a high resolution GCM with doubled CO_2. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120, 1209-1230.

Hansen, J.E., Lacis, A., Ruedy, R., Sato, M., and Wilson, H., 1993. How sensitive is the world's climate? *National Geographic Research and Exploration*, 9, 142-158.

Henderson-Sellers, A., and McGuffie, K., 1995. Global climate models and dynamic vegetation changes, *Global and Change Biology*, 1, 63-76.

Hennessev, K.J. and Pittock, A. B., 1995. Greenhouse warming and threshold temperature events in Victoria, Australia. *International Journal of Climatology*, 15, 591-612.

Hogg, W.D., Cycles and Trends in Time Series of Canadian Extreme Rainfall, Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview, Ontario, unpublished.

IPCC, 1992. Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Assessment. 1990. IPCC Secretariat, Geneva.

IPCC, 1996a. *Climate change 1995: The science of climate change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira-Filho, L. G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge. 572 pp.

IPCC, 1996b. *Climate change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H., eds. Cambridge University Press, Cambridge. 880 pp.

IPCC, 1996c. *Climate change. 1995: Economic and social dimensions of climate change*. Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Bruce, J.P., Lee, H., and Haites, E., eds. Cambridge University Press, Cambridge. 498 pp.

Kaas, E., Li, T.S., and Schmith, T., 1996. Statistical hindcast of wind climatology in the North Atlantic and northwestern European region. *Climate Research* 7, 97-110.

Karl, T.R., Knight, R.W., and Plummer, N., 1995. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, 377, 217-220.

Karl, T.R., Knight, R.W., Easterling, D.R., and Quayle, R.G., 1996. Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 279-292.

Kattenberg, A., Giorgi, F., Grassi, H., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R. J., Tokioka, T., Weaver, A.J., and Wigley, T.M.L., 1996. Climate models-projections of future climate. *Climate change 1995: The science of climate change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L. G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 285-358.

Knutson, T.R., Tuleya, R.E., and Kurihara, Y., 1998. Simulated increase of hurricane intensities in a CO_2 warmed climate. *Science*. 279, 1018-1020.

Knutson, T.R., and Manabe, S., 1998. Model assessments of decadal variability and trends in the tropical Pacific Ocean. *Journal of Climate*, 11(9), 2273-2296.

Kurz, W.A., and Apps, M.J., 1995. Analyses of future carbon budgets of Canadian boreal forests. *Boreal Forests and Global Change*. Apps, M.J., Price, D.T., and Wisniewski, J., eds. Kluwer Academic Publishers, pp. 321-331.

Lambert, S.J., 1995. The effect of enhanced greenhouse warming on winter cyclone frequencies arid strengths. *Journal of Climate*, 8, 1447-1452.

Lambert, S.J., 1996. Intense extratropical northern hemisphere winter cyclone events: 1899-1991. *Journal of Geophysical Research*, 101, 21219-21325.

Landsea, C.W., Nicholls, N., Gray W.M., and Avila, L.A., 1996. Downward trend in the frequency, of intense Atlantic hurricanes during the past five decades. *Geophysical Research Letters*, 23, 1697-1700.

Lean, J., Beer, J., and Bradley, R., 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geographic Research Letters*, 22, 3195-3198.

Lighthill, J., Holland, G., Gray, W., Landsea, C., Craig, G., Evans, J., Kurihara, Y., and Guard, C., 1994. Global climate change and tropical cyclones. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75, 2147-2157.

London, S.J., Warren, S.G., and Hahn, C.J., 1991. Thirty-year trend of observed greenhouse clouds over the tropical Oceans. *Advances in Space Research*, 11(3), 45-49.

McCulloch, J. and Etkin, D., eds., 1994. Proceedings of a workshop on improving responses to atmospheric extremes: The role of insurance and compensation. Environment Canada, Downsview, Ontario.

Meehi, G.A., Branstator, G.W., and Washington, W.M., 1993. Tropical Pacific interannual variability and CO_2 climate change. *Journal of Climate*, 1, 42-63.

Nichols, N., Gruza, G.V., Jouzel, J., Karl, T.R., Ogallo, L.A., and Parker, D.E., 1996. Observed climate variabilitiy and change. *Climate change, 1995: The science of climate change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 133-192.

O'Brien, J.J., Richards, T.S., and Davis, A.C., 1996. The effect of El Niño on U.S. landfalling hurricanes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 773-774.

Ostby, F.P., 1993. The changing nature of tornado climatology. *Preprints: 17th conference on severe local storms*, October, 1993 St. Louis Missouri, pp. 1-5.

Pearce, D.W., Cline, W.R., Achanta, A.N., Frankhauser, S., Pachauri, R.K., Tol, R.S.J., and Vellinga, P., 1996. The social costs of climate change: Greenhouse damage and the benefits of control. *Climate change. 1995 Economic and social dimensions of climate change*. Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change Bruce, J.P., Lee, H., and Haites, E., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 179-224.

Pielke, R. A. Jr., and Landsea, C.W., 1997. Normalized hurricane damages in the United States: 1925-1995. Draft paper, National Center for Atmospheric Research, Boulder Colorado.

Price, C., and Rind, D., 1994. Possible implications of global climate change on global lightning distributions and frequencies. *Journal of Geophysical Research* , 99, 10823-10831.

Saunders, M.A., and. Harris, A. R., 1997. Statistical evidence links exceptional 1995 Atlantic hurricane season to record sea warming. *Geophysical Research Letters*, 24, 1255-1258.

Schmidt, H. and von Storch, H., 1993. German Bight storms analysed, *Nature*, 365, 791.

Shine, K.P., Fouquart, Y., Ramaswamy, V., Solomon, S., and Srinivasan, J., 1995. Radiative forcing. In *Climatic change, 1994*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J.P., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., and Maskell, K., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 163-204.

Stewart, W., and Dickey, P., 1993. Corporate Responsibility. *Ethics and Climate Change: The Greenhouse Effect*. Coward, H., and Hurka, T., eds. Calgary Institute for the Humanities.

Street, R., 1997. Weather impacts in Canada. Paper presented at the Workshop on the Social and Economic Impacts of Weather, Boulder, Colorado, 2-4 April, 1997.

Sun, D.Z., 1997. El Niño: A coupled response to radiative heating? *Geophysical Research Letters*, 24, 2031-2034.

Suppiah, R. and Hennessey, K.J., 1996. Trends in the intensity and frequency of heavy rainfall in tropical Australia and links with the southern oscillation. *Australian Meteorological Magazine*, 45, 1-18.

Tsonis, A.A., 1996. Widespread increases in low-frequency variability of precipitation over the past century. *Nature*, 382, 700-702.

Von Storch, H., Guddak, J., Iden, K.A., Junsen, T., Perlwitz, J., Reistad, M., de Ronde, J., Schmidt, H., and Zorita, E., 1993. Changing statistics of storms in the North Atlantic? *Report No. 116*. Max Planck-Institute für Meteorologie, Hamburg.

Wetherald, R.T., and Manabe, S., 1995. The mechanisms of summer dryness induced by greenhouse warming, *Journal of Climate*, 8(12), 3096-3108

Whetton, P. H., Fowler, A.M., Haylock, M.R., and Pittock, A. B., 1993. Implications of climate change due to the enhanced greenhouse effect on floods and droughts in Australia. *Climatic Change*, 25, 289-317.

Zwiers, F.W., and Kharin, V.V., 1998. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO_2. Doubling. *Journal of Climate*, 11(9), 2200-2222.

Partie 2 : Prévention, atténuation et protection civile

Adams, R.M., Fleming, R.A., McCarl, B., and Rosenzweig, C., 1993. A Reassessment of the Economic Effects of Global Climate Change on U.S. Agriculture, *Climatic Change* 30, 147-167.

Apuuli, B., Wright, J., Elias C., Burton, I., 1998. Reconciling National and Global Priorities in Adaptation to Climate Change: An Illustration from Uganda. *Adaptation to Climate Variability and Change*, IPCC Workshop, San Jose, Costa Rica, March 29-April 2, 1998.

Ausubel, J.H., 1991. Does Climate Still Matter?, *Nature*, 350, 649-652.

Bijlsma, L., Elder, C.N., Klein, R.J.T., Kulahrestha, S.M., McLean, R.F., Mimura, N., Nicolls, R.J., Nurse, L.A., Pérez Nieto, H., Stakhiv, E.Z., Turner, R.K., and Warrick, R.A., 1996. Coastal Zones and Small Islands. *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H., eds. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 289-324.

Blaikie, R., Cannon, T., Davis, I., and Wisner, B., 1994. *At Risk: Natural Hazards, People's Vocabulary, and Disasters*. Routledge, London.

Bruce, J.P., 1996. *Implications of Climate Change for Natural Hazards*, Notes for a presentation given at the Natural Hazards Society, Toronto.

Burton, I., 1998. We Can, Must and Will Adapt, *Adapting to Climate Change and Variability in the Great Lakes-St. Lawrence Basin*, Mortsch, L.D., Quon, S., Craig, L., Mills B., and Wrenn B., eds. Proceedings of a Binational Symposium. May 13-15, 1997, Toronto, Ontario. Environmental Adaptation Research Group, Waterloo, pp. 78-86.

Burton, I., Feenstra, J., Smith, J., and Tol, R eds., Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. *Draft Report*. Institute for Environment Studies (IVM) Free University of Amsterdam, Netherlands.

Burton, I., 1998. Climate Adaptation Policies for Canada *Policy Options*, 19(4), 6-10.

Burton, I., 1997. Vulnerability and Adaptive Response in the Context of Climate and Climate Change, *Climatic Change* 36: 185-196.

Burton, I., 1996a. The Growth of Adaptation Capacity: Practice and Policy. *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds., Springer, New York pp. 54-67.

Burton, I., 1996b. The Evolution of Adaptation in Response to Climate Change. *Proceedings of 14th International Congress of Biometeorology*, September 1996, Ljubljanan, Slovenia, pp. 44-52.

Burton, I., 1996c. Atmospheric Hazards. *Encyclopedia of Climate and Weather*. Stephen H. Schneider ed. Simon and Schuster, New York.

Burton, I., 1995a. The Atmosphere as a Resource *Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation*. Proceedings of the Regional Workshop, Prague, Czech Republic, September 11-15, 1995, Ivana Nemeová ed.

Burton, I., 1995b. Towards a Law of the Atmosphere: The Integration of Atmospheric Science and Policy. Paper presented at the *Atmospheric Hazards Process, Awareness and Response Workshop* September 20-22, 1995, Brisbane Australia.

Burton, I., 1995c. Adaptation to Climate Change and Vulnerability: An Approach Through Empirical Research, *Climate Change Impact Assessment and Adaptation Option Evaluation: Chinese and Canadian Perspectives*. Proceedings from the Canada-China Workshop on Climate Change Impacts and Adaptations. Yin, Y., Sanderson M., and Guangsheng R., eds. Beijing, May 15-19, 1995.

Burton, I., 1995d. Natural Environmental Hazards. *Environmental Science and Engineering*. Heinke G.W., and Henry G., eds. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. Second edition, 1995. pp. 85-110.

Burton, I., 1994. Decontructing Adaptation ... and Reconstructing. in *Delta*, 5(1).

Burton, I., 1993. Climate Change and World Food Security. Paper presented to the Conference on Climate Change and World Food Society. NATO Advanced Research Workshop and Oxford Environment conference. University of Oxford. July 11-16, 1993.

Burton, I., Kates, R.W., White G.F., 1993. The Environment as Hazard. Second edition. Guilford Press, New York.

Burton, I., 1992. Regions and Resilience: An Essay on Global Warming. *The Regions and Global Warming: Impacts and Response Strategies*. Schmandt, J., and Clarkson, J., eds. Oxford University Press. New York pp. 257-274.

Burton, I., Herbert, D., 1992. A Canadian Perspective on Climate Change. *Global Climate Change: Implications, Challenges and Mitigation Measures*. Majumdar, S.K., Kalkstein, L.S., Yarnel, B., Miller, E.W., and Rosenfeld, L.M., eds. Pennsylvania Academy of Science, Easton Pennsylvania. pp. 529-528.

Callaway, J.M., Ness, L.O., and Ringius, L., 1997. Adaptation Costs: A Framework and Methods. *Mitigation and Adaptation Cost Assessment: Concepts, Methods and Appropriate Use*. Draft. Sathaye, J.A. and Christensen, J., eds.

Canadian Climate Program Board, 1998. Understanding and Adapting to Climate Change. September 1998, Draft.

Carter, T.P., Parry, M.L., Harasawa, H., and Nishioka, N., 1994. IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. University College London, London.

Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J., and Raneses, A., 1995. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. United States Department of Agriculture Economic Research Service, Washington.

De Freitas, C.R., 1989. The Hazard Potential of Drought for the Population of the Sahel. *Population and Disaster*. Clarke, J.I., Curson, P., Kaysatha, S.L., and Nag, P., eds., Basil Blackwell, Oxford.

De Vries, J., 1985. Analysis of Historical Climate-society Interaction. *Climate Impact Assessment*. Kates, R.W., Ausubel, J.H., and Berberian, M., eds., John Wiley and Sons. New York, pp. 273-291.

Denevan, W., 1983. Adaptation, Variation and Cultural Geography. *Professional Geographer* 35, 406-412.

Downing, R.E., Olsthoorn, A.A., and Tol, R.S.J., 1996. *Climate Change and Extreme Events: Altered Risks, Socio-Economic Impacts and Policy Responses.* Vrije Universiteit, Amsterdam.

Easterling, W.E., 1996. Adapting North American Agriculture to Climate Change in Review, *Agricultural and Forest Meteorology* 80(1), 1-54.

Easterling, W.E., Crosson, P.R., Rosenberg, N.J., McKenney, M.S., Katz, L.A., and Lemon, K.M., 1993. Agricultural Impacts of and Responses to Climate Change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas Region, *Climatic Change* 24(1-2), 23-62.

Fankhauser, S., 1997. *The Costs of Adapting to Climate.* Working Paper No 13, Global Environmental Facility, Washington.

Fankhauser, S., 1995. The Potential Costs of Climate Change Adaptation, *Adapting to Climate Change: An International Perspective.* Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds., Springer, New York, pp. 80-96.

Frederick, K.D., 1997. Adapting to Climate Impacts on the Supply and Demand for Water, *Climatic Change* 37, 141-156.

Glantz, M., ed. 1988. *Societal Responses to Climate Change: Forecasting by Analogy,* Westview Press, Boulder.

Goklany, I.M., 1995. Strategies to Enhance Adaptability: Technological Change, Sustainable Growth and Free Trade, *Climatic Change* 30, 427-449.

Hastenrath, S., 1995. Recent Advances in Tropical Climate Prediction, *Journal of Climate,* 8, 1519-1531.

Hewitt, K., 1997. *Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters,* Addison Wesley Longman, Harlow Essex.

Hewitt, K., and Burton, I., 1971. *The Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events,* University of Toronto, Toronto.

Hulme, M., Raper, S.C.B., and Wigley, T.M.L., 1995. An Integrated Framework to Address Climate Change (ESCAPE) and Further Developments of the Global and Regional Climate Modules (MAGICC), *Energy Policy* 23(4/5), 347-355.

Hurd, B., Callaway, J., Kirshen, P., and Smith, J., 1997. Economic Effects of Climate Change on U.S. Water Resources, *The Impacts of Climate Change on the U.S. Economy,* Mendelsohn, R., and Newmann, J., eds. Cambridge University Press, Cambridge.

IDNDR Secretariat, 1994. Disasters around the world - a global and regional view: Paper #4, World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, Japan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1998. *Report of the Expert Meeting on Risk Management Methods*, Toronto, Canada.

Jepma, C.J., Asaduzzaman, M., Mintzer, I., Maya, R.S., and Al-Monef, M., 1996. A Generic Assessment of Response Options, *Climate change. 1995: Economic and social dimensions of climate change*. Contributions of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Bruce, J.P., Lee, H., and Haites, E., eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 225-262.

Kane, S., Reilly, J., and Tobey, J., 1992. A Sensitivity Analysis of the Implications of Climate Change for World Agriculture, *Economic Issues in Global Climate Change*. Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 117-131.

Kates, R.W., 1985. The Interaction of Climate and Society, *Climate Impact Assessment*. Kates, R.W., Ausubel, J.H., and Berberian, M., eds. John Wiley and Sons, New York, pp. 3-36.

Klein, R.J.T., and Nicholls, R.J., 1998. Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change, forthcoming in *Ambio*.

Klein, R.J.T., and Tol, R.S.J., 1997. *Adaptation to Climate Change: Options and Technologies*, Institute of Environmental Sciences, Vrije Univeristeit, Amsterdam.

Koshida, G., Burton, I., Cohen, S.J., Cuthbert, D., Mayer, N., Mills, B., Mortsch, L., Slivitzky M., and Smith, J., 1997. Climate Change: Practising Adaptative Management for Sustainability of Canadian Water Resources, *Practicing Sustainable Water Managment: Canadian and International Experiences*. Shrubsole, D., and Mitchell, B., eds. Canadian Water Resources Association, Cambridge, pp. 75-98.

Krankina, O.N., Dixon, R.K., Kirilenko, A.P., and Kobak, K.I., 1997. Global Climate Change Adaptations: Examples from Russian Boreal Forests, *Climatic Change* 36, 197-215.

Lagos, P., and Bulzer, J., 1992. El Niño and Peru: A Nation's Response to Interannual Climate Variability, *Natural and Technological Disasters: Causes, Effects and Preventive Measures*, Majumdar, S.K., Fothes, G.S., Millet, E.W., and Schmalz, R.F., eds. The Pennsylvania Academy of Science.

Lawrence, E., 1995. *Henderson's Dictionary of Biological Terms*. Longman Scientific and Technical, Harlow.

Leemans, R., 1992. Modeling Ecological and Agricultural Impacts of Global Changes on a Global Scale. *Journal of Science and Industrial Research*, 51, 709-724.

Lewandrewski, J., and Brazee, 1992. Government Farm Programs and Climate Change: A First Look, *Economic Issues in Global Climate Change*, Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 132-147.

MacDonald, G.M., Edwards, T.W.D., Moser, K.A., Pienitz, R., and Smol, J.P., 1993. Rapid Response of Treeline Vegetation and Lakes to Past Climate Warming, *Nature* 361, 243-246.

Magalhaes, A.R., 1996. Adapting to Climate Variations in Developing Regions: A Planning Framework, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York pp. 44-54.

Markham, A., and Malcolm, J.: 1996, 'Biodiversity and Wildlife, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York pp. 384-401.

Munich Re, 1997. *Topics: Annual review of natural catastrophes*. Munich Re, Munich.

Munich Re, 1995, *Topics Annual review of natural catastrophes*. Munich Re, Munich.

Olsthoorn, A.A., Maunder, W.J., and Tol, R.S.J., 1996. Tropical Cyclones in the Southwest Pacific: Impacts on Pacific Island Countries with Particular Reference to Fiji, *Climate Change and Extreme Events: Altered Risks, Socio-Economic Impacts and Policy Responses*. Downing, T.E., Olsthoorn, A.A., and Tol, R.S.J., eds., Institute for Environmental Management, Vrije Universiteit, Amsterdam, pp. 185-208.

Perry, M.L., 1986. Some Implications of Climate Change for Human Development, *Sustainable Development of the Biosphere*, Clark, W.C., and Munn, R.E., eds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 378-407.

Peters, R.L., and Lovejoy, T.E., eds., 1992. *Global Warming and Biological Diversity*, Yale University Press, New Haven, Connecticut.

Riebsame, W.E., 1991. Sustainability of the Great Plains in an Uncertain Climate, *Great Plains Research* 1(1), 133-151.

Rivers, R., Mortsch, L., Burton, I., 1997. The Economics of Climate Change: The Economics of a Water Adaptation Strategy. Paper presented to the Annual Conference of the Canadian Society for Ecological Economics, Hamilton 1997.

Rose, C., and Hurst, P., 1991. *Can Nature Survive Global Warning*, World Wildlife Fund International, Gland, Switzerland.

Rosenweig, C., and Parry, M.L., 1994. Potential Impact of Climate Change on World Food Supply, *Nature* 367, 133-138.

Rothman, D.S., Demeritt, D., Chiotti, Q., Burton, I., 1998. Costing Climate Change: The Economics of Adaptations and Residual Impacts for Canada. *Canada Country Study climate impacts and adaptation. Volume VIII: National Cross-Cutting Issues*, Mayer, N., and Avis, W., eds. University of Toronto Press, Toronto, pp. 1-30.

Russell, D., 1997. *Keeping Canada Competitive: Comparing Canada's Climate Change Performance to Other Countries*, Vancouver, David Suzuki Foundation.

Russell, D. and Toner, G., 1998. *Science and Policy when the Heat is Rising: The Case of Global Climate Change Negotiations and Domestic Implementation*, A Paper for the CRUISE Conference on Science, Government and Global Markets, Ottawa.

Smit, B., ed. 1993. *Adaptation to Climate Variability and Change*, University of Guelph Occasional Report No. 21, Guelph, 51 pp.

Smit, B., Burton, I., and Klein, R.J.T. (forthcoming). The Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability, a paper prepared for a Special Issue of *Climatic Change on Societal Adaptation to Climatic Variability and Change*.

Smit, B., McNabb, D., and Smithers, J., 1996. Agricultural Adaptation to Climate Change, *Climatic Change* 33, 7-29.

Smit, B., Blain, R., and Keddie, P., 1997. Corn Hybrid Selection and Climatic Variability: Gambling with Nature?, *The Canadian Geographer* 41(4), 429-438.

Smith, J., Ragland, S.E., Racher, R.S., Burton, I., 1997. Assessment of Adaptation to Climate Change: Benefit-Cost Analysis. Paper prepared for the Global Environment Faculty, Washington, D.C.

Smith, J.B., Ragland, S.E., and Pitts, G.J., 1996. A Process for Evaluating Anticipatory Adaptation Measures for Climate Change, *Water, Air, and Soil Pollution* 92, 229-238.

Smith, J.B., 1996. Using a Decision Matrix to Assess Climate Change Adaptation, *Adapting to Climate Change: An International Perspective*, Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York, pp. 68-79.

Smith, K., 1996. *Environmental Hazards: Assessing risk and reducing disaster*, Routledge, London.

Smith, J., and Lenhart, S.S., 1996. Climate Change Adaptation Policy Options, *Climate Research* 6, 193-201.

Smithers, J., and Smit, B., 1997a. Human Adaptation to Climatic Variability and Change, *Global Environmental Change* 7(2), 129-146.

Smithers, J., and Smit, B., 1997b. Agricultural System Response to Environmental Stress, *Agricultural Restructuring and Sustainability*, Ilberry, B., Chiotti, Q., and Rickard, T., eds. CAB International, Wallingford, pp. 167-183.

Sonka, S.T., and Lamb, P.J., 1987. On Climate Change and Economic Analysis, *Climatic Change* 11(3), 291-313.

Sonka, S.T., 1992. Evaluating Socioeconomic Assessments of the Effect of Climatic Change on Agriculture, *Economic Issues in Global Climate Change*, Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 402-413.

Sprengers, S.A., Slager, L.K., and Aiking, H., 1994. *Biodiveristy and Climate Change part 1: Establishment of Ecological Goals for the Climate Convention*, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Stakhiv, E.Z., 1996. Managing Water Resources for Climate Change Adaptation' *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Smith, J.B., Bhatti, N., Gennady V., Menzhulin, R., Benioff, M., Campos, B., Rijsberman, J., Budayko, F., M.I., Dixon R.K., eds. Springer, New York, pp. 243-264.

Stakhiv, E., 1993. *Evaluation of IPCC Adaptation Strategies*, Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, VA, draft report.

Swiss Re, 1996. Natural catastrophes and major losses in 1995, Sigma, No 2, (Also No. 3/1995) Zurich.

Titus, J.G., 1990. Strategies for Adapting to the Greenhouse Effect, *Journal of the American Planning Association* 56(3), 311-323.

Tol, R.S.J., Fankhauser, S., and Smith, J.B., 1997. *The Scope for Adaptation to Climate Change: What Can We Learn From the Literature?* Institute for Environmental Studies, Vrije universiteit, Amsterdam.

Tol, R.S.J., 1996. A Systems View of Weather Disasters, *Climate Change and Extreme Events: Altered Risks, Socio-Economic Impacts and Policy Responses*, Downing, T.E., Olsthoorn, A.A., and Tol, R.S.J., eds., Institute for Environmental Management, Vrije Universiteit, Amsterdam, pp. 17-33.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1996. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies.* Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change, Text* UNEP/WMO, Geneva.

US Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1996. *National Mitigation Strategy.*

Viscusi, W.K., 1992. Implications of Global-change Uncertainties: Agricultural and Natural Resource Policies, *Economic Issues in Global Climate Change*, Reilly, J.M., and Anderson, M., eds. Westview Press, Boulder, pp. 414-424.

Warrick, R.A., Gifford, R.M., and Parry, M.L., 1986. CO_2, Climate Change and Agriculture. *The Greenhouse Effect, Climate Change, and Ecosystems*, Bolin, B., Döös, B.R., Jäger, J., and Warrick, R.A., eds. New York, John Wiley and Sons, pp. 393-473.

Wigley, T.M., 1985. Impact of Extreme Events, *Nature* 316, 106-107.

Partie 3 : Document d'information

Burn, D. H., 1998. *Experience from the Red River Flood of 1997.*, University of Waterloo. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Jones, B. and Andrey, J., 1998. *Weather Warnings and Adaptive Responses: Perceptions of Kingston, Ontario Residents.* University of Waterloo. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Koshida, G., Mills B., and Sanderson, M., 1998. *Adaptation Lessons Learned (and Forgotten) from the 1988 and 1998 Southern Ontario Droughts.* Environment Canada, Environmental Adaptation Research Group. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Lange, O., 1998. *Adaptation Lessons from the Storm of '96: Adaptation to Infrequent Snowstorms in the Lower B.C. Mainland and the Victoria Area.* Environment Canada, Victoria Weather Office. Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

Singh, B., 1998. *Adaptation to Climate Change and Variability in Agriculture.* Quebec, University of Montreal, Paper presented at the Adaptation Learning Project Workshop, November 12-13, 1998, Downsview, Ontario.

SAUVE GARDE est un programme national d'information fondé sur le partenariat, qui vise à sensibiliser davantage le public à l'égard de la protection civile au Canada.

Il se veut un point de convergence pour les organismes publics et privés ainsi que les organismes de bénévoles s'occupant de planification, d'intervention et de rétablissement à la suite d'urgences.

Le triangle est le symbole international de la protection civile. La ligne brisée rappelle la feuille d'érable, symbole national reconnu dans le monde entier. Le jaune est utilisé sur les signaux d'alerte ou d'avertissement.